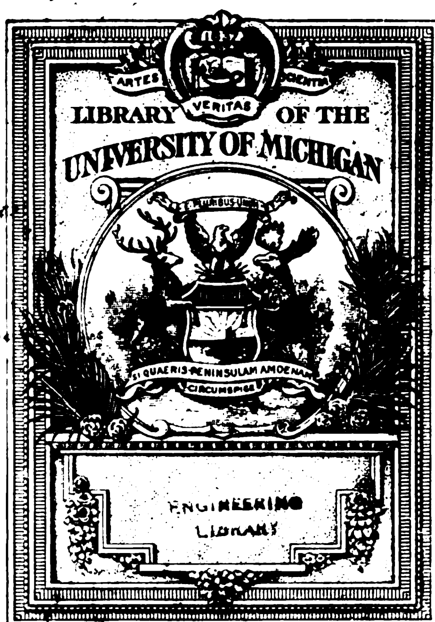
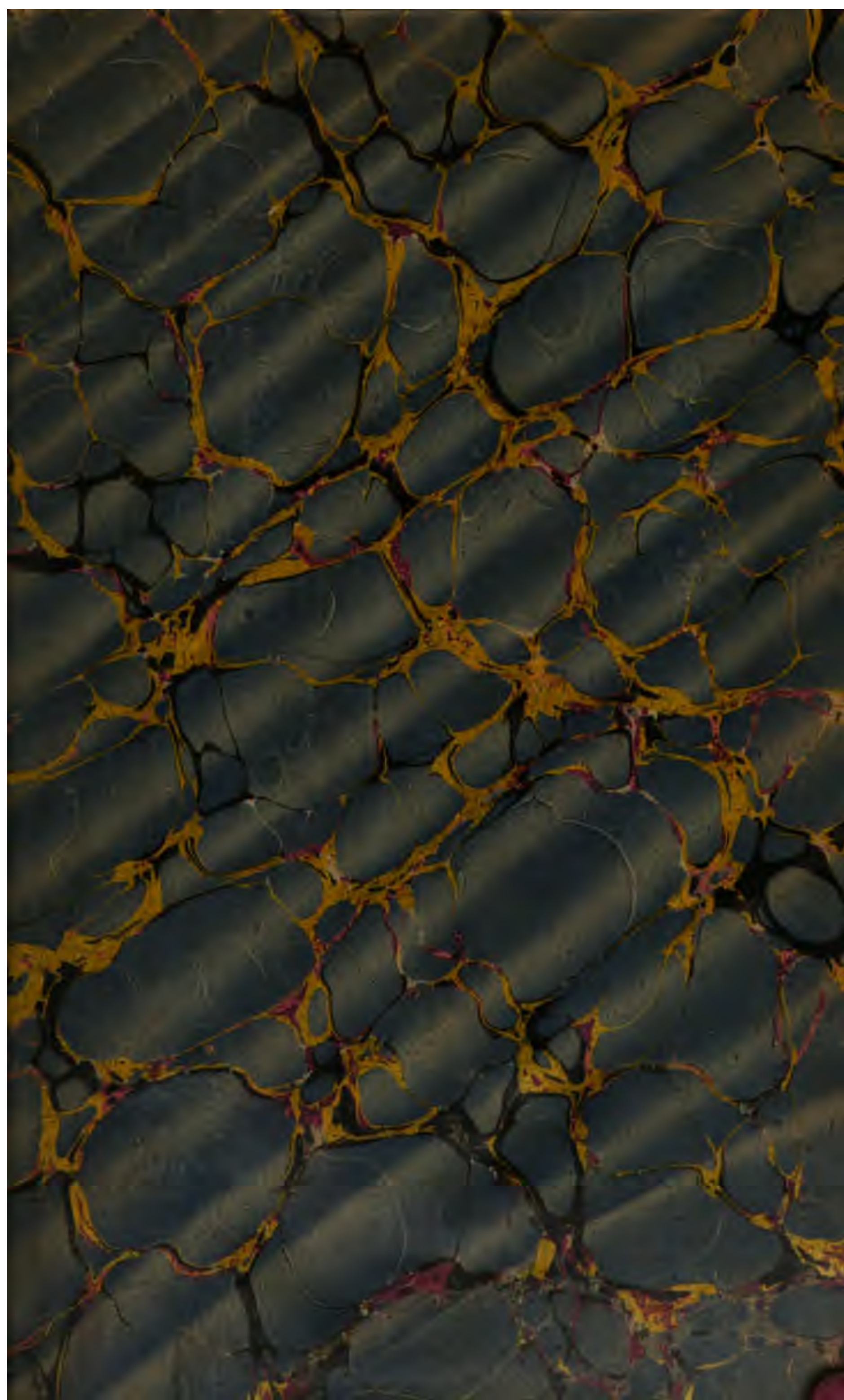




ANNALES

DES

PONTS ET CHAUSSÉES

MÉMOIRES ET DOCUMENTS

6e SÉRIE

TOME V

1883

1er SEMESTRE

4197 — PARIS, IMPRIMERIE A. L. GUILLOT
7, rue des Canettes, 7

ANNALES

DES

PONTS ET CHAUSSÉES.

MÉMOIRES ET DOCUMENTS

RELATIFS

A L'ART DES CONSTRUCTIONS

ET AU SERVICE DE L'INGÉNIEUR

LOIS, DÉCRETS, ARRÊTÉS ET AUTRES ACTES

CONCERNANT

L'ADMINISTRATION DES PONTS ET CHAUSSÉES

MÉMOIRES ET DOCUMENTS

6e SÉRIE

TOME V

1883

1er SEMESTRE

PARIS

DUNOD, ÉDITEUR

LIBRAIRE DES CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES

DES MINES ET DES TÉLÉGRAPHES

Quai des Augustins, n° 49

ANNALES

DES

PONTS ET CHAUSSÉES

MÉMOIRES ET DOCUMENTS

RELATIFS

A L'ART DES CONSTRUCTIONS

ET AU SERVICE DE L'INGÉNIEUR.

N° 1

NOTE

SUR LA

QUALITÉ DES MATÉRIAUX D'EMPIERREMENT

DE PROVENANCE EXTÉRIEURE, EMPLOYÉS DANS LE DÉPARTEMENT DE L'AISNE.

Par M. MENCHE DE LOISNE,
Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Si l'on joint l'extrémité ouest du canton de Neufchâtel. dans la vallée de l'Aisne, à Saint-Simon, dans la vallée de la Somme, on divise le département de l'Aisne en deux parties dont le système géologique diffère comme la clima-

ture, puisque dans la région nord, à Vervins, la hauteur d'eau pluviale moyenne observée est de $0^m,69$, et près de Soissons, de $0^m,495$.

Au sud sont les terrains tertiaires, dont le peu de consistance a permis, à l'époque quaternaire, l'érosion de nombreuses vallées.

Au nord sont les terrains secondaires, qui comprennent :

1° La craie Sénonienne ;

2° La craie Nervienne : *les Calcaires argileux, la Craie marneuse, les Dièves, la Craie glauconnieuse, et le Greendsand* (dans les vallées du Thon et de l'Oise en amont d'Etréaupont).

L'étage Oolithique apparaît dans la traversée de l'Oise, entre Ohis et Neuvemaison. Les affleurements des bancs de moellons de ce calcaire dans la vallée du Thon sont séparés par des dépressions perpendiculaires.

Le nord-ouest de l'arrondissement de Vervins appartient à la pente vers la mer du plateau Ardennais.

En dehors de cette région, les matériaux d'empierrement sont disséminés dans les poches de la craie à silex et dans les dépôts d'érosion du Diluvium.

Les roches propres à la région sud appartiennent à l'étage Éocène : *meulière, calcaire lacustre, calcaire grossier,* et les cailloux roulés des vallées sont formés de leurs débris.

Telle est l'esquisse géologique des ressources.

Quels sont les besoins ?

Les routes nationales du département de l'Aisne présentent en pavage 201 kilomètres, et en empierrement 413 kilomètres.

Lorsque se développa l'industrie sucrière, qui exige 75 tonnes de transport par tonne de matière ouvrée, et qui fatigue plus que toute autre les chaussées, parce qu'elle opère surtout en mauvaise saison, les chaussées empierrées de la région nord, où sont en majeure partie les fabriques de sucre, furent bouleversées chaque hiver.

Présentement la fabrication du sucre atteint le chiffre de 79 000 tonnes, et le département de l'Aisne va occuper le premier rang dans l'échelle de la fabrication.

L'emploi des matériaux durs qu'ont commencé, dès 1862, les Ingénieurs des Ponts et Chaussées, en introduisant la pierre, dite : Porphyre de Belgique, concassée à la machine, a donc une importance capitale. Aussi, en 1876 et en 1881, pour le renouvellement des baux d'entretien, l'Ingénieur en chef, particulièrement aidé de MM. Damery et Rigaux, a multiplié des recherches dont il peut être utile de rendre compte, puisque les départements du Nord, de l'Oise et de la Somme, pays d'industrie sucrière, se trouvent dans la nécessité d'importer des matériaux.

Les carrières accessibles pour les transports se trouvent, en dehors des roches éruptives de Lessines et de Quenast, dans les terrains Ardennais reliés, à l'ouest, aux canaux du nord par le canal de la Sambre à l'Oise, et à l'est, à la Meuse, et desservis en outre par les lignes de Paris à Erquelines et de Paris à Namur par Givet.

La pierre dite porphyre de Belgique provient des débris de la taille des pavés de Quenast et de Lessines; l'extraction à cette dernière carrière date de 1750. L'introduction de ces matériaux en France paraît dater de 1856, époque où ils ont été signalés à l'attention de M. Kolb, Ingénieur en chef du Nord, et, par suite, de M. Menche de Loisne, Ingénieur de l'arrondissement de Lille, par M. Plichon, qui mit cet Ingénieur en relation avec M. Tacquenier, le principal extracteur de Lessines. Ils ont été employés d'abord, près de Lille, sur les sections du chemin de halage du canal de la Deule, à usage de port, où une circulation écrasante bouleversait chaque hiver la chaussée constituée en gravier de Saint-Omer. Les résultats comparatifs furent excellents, et le porphyre *concassé à la machine* remplaça le gravier dans la région du limon des Flandres.

Les carrières de Lessines et de Quenast sont ouvertes

dans les Porphyrites. Cette roche renferme dans une pâte colorée grise, verdâtre ou rougeâtre, de Feldspath Oligoclase (soit à base de soude et de chaux), des paillettes de Chlorite vert, des grains de Quartz hyalin et des aiguilles d'Épidote d'un vert jaunâtre.

On a installé de puissantes machines à concasser; mais les Ingénieurs de l'Aisne, qui n'usent que du Lessines pour les empierrements, à cause de la facilité que donne la canalisation de la Dendre, trouvent avantage à faire effectuer à la main sur les routes le cassage réglementaire à la dimension 0,02,0,06.

Le fait s'explique. On reçoit ainsi moins de plaquettes, et la brisure par tenailles paraît agir défavorablement sur la constitution moléculaire.

Les terrains de transition Ardennais sont constitués par le terrain Silurien et par le terrain Dévonien. Le terrain Silurien le plus accessible est celui du massif de Rocroi. Les principales roches sont les schistes de nature argileuse, qui, lorsqu'elles se divisent facilement en feuillets minces, donnent l'ardoise, et les Quartzites formés d'une silice presque pure, qui a cheminé par des cavités remplies par des filons de Quartz.

On trouve un gisement considérable de ce Quartzite à Monthermé (arrondissement de Mézières). Il est homogène, compact, légèrement grenu, grisâtre et n'est pas altéré par la Pyrite, la Limonite, le Fer Magnétique, le Fer Oligiste, qui se trouvent souvent dans les terrains de cet étage.

Le terrain Dévonien comprend des Schistes Argileux, des Grès, des Granwackes, intermédiaires entre le Grès et le Schiste des poudingues, composés de cailloux roulés, de Quartzites, de Quartz et quelquefois de Schistes à gangue siliceuse ou schisteuse; l'Arkôse, grès formé de gros grains de Quartz, mélangés à des parties Feldspathiques. Enfin, le calcaire foncé, si répandu dans l'arrondissement d'Avesnes.

C'est dans les matériaux Siliceux qu'il faut faire des recherches en vue de l'exportation, les autres matériaux étant, *à priori*, dans un état d'infériorité marqué.

Le Grès Dévonien inférieur se trouve en grande masse dans la vallée de la Sambre belge (Thuin, Lobbes, Landelies).

Le Grès Dévonien supérieur de Jeumont, département du Nord, appartient à la variété schistoïde et micacée, dite : Psammite ; les carrières viennent de s'ouvrir, et il sera très intéressant d'en suivre l'extraction, car des carrières ne donnent à l'origine que des qualités inférieures. Néanmoins, il est à croire que la pierre de Jeumont sera classée après celles de Monthermé et de Lobbes.

Le Grès Dévonien inférieur, désigné vulgairement sous le nom de Lobbes, est très employé sur les routes nationales des arrondissements de Laon, Saint-Quentin et Vervins.

Les devis d'entretien de 1876 à 1882 contiennent d'utiles clauses restrictives. « *Les pierres de Lobbes de contexture caractérisée schistoïde seront refusées, on ne recevra que les pierres grises ou bleues.* » Celles rougeâtres, en effet, n'ont pas de résistance.

Les trois types Porphyrites, Quartzites, Siluriens, Grès Dévoniens, ont été soumis aux expériences voulues par la circulaire du 23 juillet 1878, par voie de comparaison avec les matériaux propres à la région.

Le champ d'expérience a été la route nationale n° 44, immédiatement en deçà du pavé de la traverse de la Fère, dans un pays d'industrie sucrière, à sous-sol d'Argile Glaiseuse presque imperméable, et imprégné de Pyrites et de Lignites ; les conditions d'entretien étaient donc très-défavorables et la qualité relative des matériaux devait être mise en évidence.

Les soins les plus minutieux ont été pris par M. l'Ingénieur Damery, pour que les sections expérimentées fussent bien comparables.

Les essais portèrent sur une suite non interrompue d'hectomètres laissant entre eux, deux à deux, un intervalle de 70 mètres.

Les cubes des matériaux employés ont été :

	mc.
Pierres de Lobbes (Grès Dévonien inférieur). . .	18,000
Pierres de Lessines (Porphyrite).	17,020
Pierres de Monthermé (Quartzites Siluriens). . .	20,310
Pierres de Fourmies (Grès Dévoniens de l'étage de Vireux).	17,780
Pierres de Saint-Michel (Quartzites Dévoniens de l'étage de Revin)	20,170
Pierres de Suzoy (calcaires du groupe des sables Nummulitiques, Terrains tertiaires).	19,250
Pierres de Bachant (Calcaire Dévonien de l'arrondissement d'Avesnes).	19,000

Les volumes ont ainsi varié quelque peu, parce qu'on a dû les appliquer au rétablissement du bombement normal de la chaussée. L'épaisseur moyenne des rechargements a été de 0m125.

On a eu soin, depuis ces rechargements en matériaux variés, de ne faire aucun emploi ; on s'est donc borné pendant plus de trois ans à purger la chaussée des détritus. Les profils en travers ont été relevés à l'aide de la règle Mary et de deux repères placés sur des bornes solidement maçonnées. Toutes les opérations ont été suivies avec le plus grand soin par M. l'Ingénieur Damery. Les relevés de profils ont eu lieu les 18 avril 1879, 8 mars 1880, 18 avril 1881, 12 avril 1882, et ont donné les résultats suivants :

DÉSIGNATION DES MATÉRIAUX.	USURE TOTALE			USURE moyenne par an.	Nos D'ORDRE DE PRIORITÉ quant à la résistance à l'usure.
	au bout d'un an.	au bout de 2 ans.	au bout de 3 ans.		
	m. c	m. c.	m. c.	m. c.	
Pierres de Lobbes.. . . .	0,006	0,009	0,0158	0,0053	1
— Lessines.. . .	0,012	0,018	0,0245	0,0082	4
— Monthermé. .	0,006	0,011	0,0169	0,0056	2
— Fourmies. . .	0,009	0,017	0,0366	0,0122	5
— Saint-Michel..	0,009	0,018	0,0243	0,0081	3
— Suzoy.	0,018	0,034	0,0458	0,0153	7
— Bachant. . . .	0,014	0,027	0,0416	0,0139	6

En tenant compte des cubes respectifs employés, l'usure annuelle par kilomètre et par cent colliers, et par suite les coefficients de qualité ressortent ainsi :

DÉSIGNATION DES MATÉRIAUX.	USURE ANNUELLE PAR KILOMÈTRE et par cent colliers.	COEFFICIENT DE QUALITÉ.
	mc.	
Pierres de Lobbes..	15,180	20
— Monthermé.	16,230	18
— Saint-Michel.	23,340	14
— Lessines..	23,530	14
— Fourmies(carrière de peu de ressources).	35,150	9
— Bachant.	39,960	8
— Suzoy.	43,990	7

Mais il y a un autre élément d'appréciation, que j'appellerai le coefficient de réception, et qui tient au plus ou moins de difficultés à appliquer strictement les conditions du cahier des charges; difficulté qui se mesure par la proportion des matériaux refusés. Eu égard à cet ordre d'idées, les Ingénieurs du département de l'Aisne donnent la priorité de qualité aux pierres de Monthermé.

Une autre série d'expériences analogues a été entreprise sur la route nationale n° 2, à la sortie de Soissons, par M. l'Ingénieur Rigaux, et a montré que la qualité d'usage des pierres de Monthermé est sensiblement à celle des

pierres meulières dans le rapport de 1 à 2, et au gros gravier de la Vesle dans le rapport de 2,50 à 1.

J'ai réuni dans un tableau :

1° Les expériences faites au Trocadéro et les coefficients qui en ont été déduits;

2° Les coefficients qu'à la suite des expériences faites à la Fère et à Soissons, et d'après l'usage réel et continu dans le service de l'Aisne, je crois pouvoir adopter.

MATIÈRES.	POIDS du mètre cube de matériaux cassés.	DENSITÉ spécifique.	USURE en grammes par kilogramme.	RÉSISTANCE à l'écrasement par centim. carré	COEFFICIENT DE RÉSISTANCE CALCULÉ d'après l'usure.	d'après l'écrasement par centimètre carré.	COEFFICIENT que propose définitivement l'Ingénieur en chef de l'Aisne.	PRINCIPALES CARRIÈRES qui fournissent le service des routes nationales de l'Aisne.
	kil.							
Quartzites gris du terrain Silurien. . . .	1,365	2,61	15,4	2,480	26,0	16,6	20	Massifs de Rocroi : Monthermé.
Grès Dévonien inférieur.	1,375	2,53	29,0	1,840	13,8	12,3	18	Vallée de la Sambre belge : Thuin, Lobbes, Landelies.
Quartzites noirâtres de l'étage de Revin du terrain Dévonien	1,325	2,72	34,2	1,829	11,7	12,2	14	Nord-est de l'arrondissement de Vervins.
Porphyrites.	1,320	2,65	24,0	1,335	16,7	8,9	14	Lessines (Belgique).
Pierre meulière. . . . (Etage Eocène.)	1,235	2,47	30,3	3,546	13,2	23,6	10	Nombreuses carrières dans l'arrondissement de Château-Thierry.
Gros gravier du Dilu-vium.	1,210	2,47	38,2	3,017	10,5	20,1	8	Carrières dans les vallées de l'Aisne et de ses affluents. Le dépôt est formé en presque totalité des diverses roches tertiaires comprises entre la meulière du calcaire siliceux et l'étage des lignites.
Calcaire Dévonien. .	1,345	2,68	36,9	1,528	10,8	10,2	8	Arrondissement d'Avesnes.
Calcaire du groupe des sables Nummulitiques (terrains Tertiaires).	1,250	2,45	60,6	0,970	6,6	6,5	7	Des environs de Noyon (Oise).

OBSERVATION GÉNÉRALE. — Les désignations géologiques varient dans les auteurs. J'ai adopté celles de M. Gosselet dans son *Esquisse géologique du nord de la France* (1871-1873).

On reconnaîtra des différences marquées avec les indications données à la suite des expériences faites au Trocadéro.

Mais la Commission des routes nationales (page 16) a pris soin par avance d'expliquer les anomalies.

Dans l'Aisne on avait toujours classé les pierres de Lobbes avant celles de Lessines. Mais généralement les Porphyrites étaient pris, dans les autres départements, comme étalon de valeur, dans le mode d'action de la machine Delval. On voit qu'il n'en est pas ainsi dans la pratique.

L'écart entre les expériences faites au Trocadéro, sur l'usure des matériaux Siliceux des terrains de Transition, et celle des Porphyrites, s'explique par la dissemblance de structure : tandis que les premiers de ces matériaux tendent à rester anguleux sous des chocs répétés et doivent ainsi conserver le même coefficient d'usure, le Porphyrite, qui est un magma éruptif. tend à s'arrondir. La rotation prolongée lui est donc relativement favorable.

D'autre part, si le Porphyrite offre une grande résistance à l'usure, il s'écrase assez facilement, quand il est en petits morceaux, parce que la pâte n'est pas homogène.

Il vaut donc mieux en pavés qu'en matériaux d'empierrement. Cette remarque s'applique encore plus à l'Arkôse de la vallée française de la Meuse.

Ces observations techniques ont leur importance commerciale, car il y a un sérieux intérêt à développer l'exploitation des carrières françaises.

Les Ingénieurs seront singulièrement aidés dans cette voie par l'étude de la carte géologique que M. Gosselet dresse pour le Ministère des Travaux Publics.

DOCUMENTS ANNEXES RELATIFS AU PRIX DE REVIENT

Grès Dévonien inférieur de la vallée de la Sambre belge.

	fr. c.
1° Prix du mètre cube brut mis en bateau ou en chemin de fer.	4 80
2° Transport par bateau (prix variable avec la distance, à demander à la Chambre syndicale de la batellerie de Charleroi. — En ce moment 7 francs pour le port de la Fère).	» »
3° Transport par chemin de fer (tarif franco-belge spécial n° 3, — livret Chaix, Nord). . .	» »
4° Cassage à la main.	4 70
5° Nettoyage et emmétrage.	0 80

Quartzites de Monthermé (Ardennes).

1° Prix du mètre cube brut, mis en bateau ou en chemin de fer.	7 00
2° Transport par bateau (fret variable avec la distance. — S'adresser au service de la navigation de l'Aisne et des canaux annexés, à Soissons).	» »
3° Transport par chemin de fer (tarif spécial n° 15 de la Compagnie de l'Est, livret Chaix, tarif spécial commun n° 8 entre les Compagnies du Nord et de l'Est)	» »
4° Cassage à la main.	4 70
5° Nettoyage et emmétrage.	0 80

Porphyrites de Lessines.

1° Prix du mètre cube brut mis en bateau ou en chemin de fer.	4 80
2° Transport par bateau (prix variable avec la distance. — S'adresser aux Chambres syn-	

dicales de la batellerie à Charleroi et Mons. En ce moment 6 fr. 20 au port de Bellenglise, près Saint-Quentin)	» »
3° Transport par chemin de fer (tarif spécial n° 3 du Livret Chaix, Nord)	» »
4° Cassage à la main	4 70
5° Nettoyage et emmétrage	0 80

Laon, 28 septembre 1882.

N° 2

NOTE

SUR

LA JONCTION DES CAISSONS DANS LES FONDATIONS A L'AIR COMPRIMÉ (*).

Par M. MENGIN, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

De nombreuses questions nous ayant été posées par nos camarades, sur le mode de jonction des caissons qui forment les fondations des deux barrages éclusés du port de Saint-Malo-Saint-Servan, nous avons cru utile d'en donner la description.

Nos fondations ont comporté le fonçage de 32 caissons de 17 à 25 mètres de longueur, qu'il a fallu relier par des jonctions aussi étanches que possible.

En présentant le projet nous avions supposé que ces jonctions seraient réalisées au moyen de pieux en bois battus entre les caissons terminés carrément, comme à l'ordinaire; le sable compris entre ces pieux eût été enlevé par un moyen quelconque, au moyen d'une pompe à sable, par exemple, et remplacé par du béton ou du mortier.

D'après ce que nous savons aujourd'hui, ces moyens eussent probablement été insuffisants et eussent, dans tous les cas, donné des résultats inférieurs à ceux qui ont été obtenus par les procédés dont nous allons parler.

M Conrad Zschokke, qui est devenu, depuis, l'entrepre-

(*) Voir planches 1, figure 1 et 2.

neur de nos travaux, ayant eu communication du projet avant son approbation définitive, proposa à la Commission d'Inspecteurs généraux chargée de l'examen de ce projet, d'améliorer le mode de jonction, en ménageant dans les abouts des caissons des cavités ou rainures à section rectangulaire et génératrices verticales, de manière à ce qu'après le fonçage, les rainures de deux caissons juxtaposés bout à bout formassent ensemble un puits dans lequel on viendrait, après l'avoir vidé, établir un massif de maçonnerie formant tenon dans les deux caissons.

Cette disposition était évidemment préférable à la jonction droite pour deux raisons : d'abord parce que, tout en rapprochant les caissons le plus possible, on conservait un espace permettant de descendre et de travailler à l'aise; ensuite, parce qu'en contournant suivant une ligne plusieurs fois brisée la surface de contact entre les caissons et les maçonneries de la jonction, on avait évidemment plus de chance de prévenir les filtrations.

Pour vider les puits et les remplir ensuite de maçonneries, M. Zschokke proposait l'emploi d'un petit caisson mobile, suspendu à des vérins, qu'on descendrait d'abord dans les puits pour opérer le vidage, et qu'on remonterait ensuite par une manœuvre inverse pour opérer le remplissage en béton, procédé non encore appliqué mais qui paraissait, à première vue, susceptible de donner des résultats avantageux.

Le projet fut donc modifié en conséquence et M. Zschokke, s'étant rendu adjudicataire des travaux, le 6 mars 1880, se trouva heureusement chargé d'appliquer les procédés qu'il avait proposés et qui ont en effet rendu grand service.

JONCTIONS PAR ÉPUISEMENT.

Toutes nos jonctions ont donc été exécutées au moyen de puits; seulement, pour la plupart, c'est-à-dire pour

toutes celles afférentes au barrage éclusé de Saint-Malo, les puits ont été vidés et remplis de maçonnerie à la marée, par épuisement, parce que la profondeur de fonçage était seulement de 4 à 5 mètres au-dessous du fond du port, lequel découvre pendant un laps de temps de trois à quatre heures dans les vives eaux.

Vingt-deux jonctions ont été exécutées ainsi, dans de bonnes conditions en général, quant au résultat, mais très souvent avec beaucoup de peine, eu égard à la nature du sol (sable argileux très fin), aux sujétions de marée et enfin aux difficultés qu'on éprouvait le plus souvent pour les battages, comme il sera expliqué plus loin.

Bien qu'il y ait beaucoup à dire sur ces jonctions, nous ne nous y étendrons guère, parce que les difficultés qu'on y a rencontrées sont de celles que les Ingénieurs abordent souvent dans les travaux maritimes.

Nous nous contenterons de mentionner un procédé que nous avons employé avec succès dans les derniers temps.

Quand on a fait une fouille par épuisement et qu'une action continue des pompes est nécessaire pour maintenir la fouille à sec, le remplissage en maçonnerie est une opération délicate et difficile, les pompes entretenant un courant qui tend à produire un délavage.

Nous nous sommes bien trouvé du procédé suivant :

Une fois le vidage opéré et le fond nettoyé, on laisse remonter les eaux, et quand il n'y a plus aucun courant on immerge des couches alternatives de mortier de ciment et de pierrailles. Le mortier est immergé au moyen de sacs munis de quatre cordelettes. On affale le sac au fond, la gueule en l'air et, quand il est au fond, on le retourne et on le retire la gueule en bas. Le sac doit être un peu plus large à la gueule qu'au fond, moyennant quoi le mortier s'échappe sous forme de boule et sans presque aucun délavage, quelle que soit la profondeur; les pierrailles, qui ne doivent pas être trop grosses, pour ne pas trop agiter la masse en tom-

bant, sont jetées avec précaution sur toute la surface, en quantité à peu près égale au mortier, mais plutôt moindre. L'opération doit être continue, mais si la profondeur est grande il peut y avoir avantage à s'y reprendre à plusieurs fois, pourvu que dans l'intervalle, et quand le mortier a commencé sa prise, on se débarrasse avec une pompe des quelques laitances formées à la partie supérieure. Ce procédé, plus rapide qu'on ne le croirait au premier abord, pourra souvent être très utile, et bien qu'il ne soit pas nouveau, nous avons cru qu'il était bon de le signaler. Il permet notamment de remplir des espaces très restreints et très irréguliers.

JONCTIONS AVEC CLOCHE MOBILE.

Pour le barrage éclusé de Saint-Servan, les caissons ont été descendus non plus à 5 mètres, mais bien à 9 ou 10 mètres au-dessous du fond du port, et le procédé par épuisement, déjà pénible pour 5 mètres, devenait tout à fait impraticable. On a donc employé la cloche mobile de M. Zschokke, cinq jonctions ont été faites ainsi et forment principalement le sujet de la présente note. La largeur des caissons était de $6^m,50$ et les rainures ménagées au milieu des abouts avaient $3^m,20$ de longueur sur $1^m,50$ de largeur; la distance entre les caissons juxtaposés étant d'environ 0,40, les puits avaient une section de $3^m,20$ sur $3^m,40$ et ont permis l'emploi d'une cloche carrée de $2^m,80$ de côté; c'est à peu près un minimum pour qu'on puisse s'y mouvoir commodément.

En examinant les conditions du problème, on aperçoit trois difficultés possibles ou probables.

1° Il faut que la position relative des caissons juxtaposés bout à bout soit assez exacte pour que les dimensions effectives des puits ne soient pas notablement réduites et que la cloche puisse y pénétrer. En fait, dans nos travaux, la

position des caissons a été généralement exacte, les écarts n'ont presque jamais dépassé $0^m,15$ à $0^m,20$, et la cloche de $2^m,80$ a toujours pu pénétrer dans les puits. Cependant, pour l'une des jonctions on était à la limite ; on se trouvait d'ailleurs entre deux caissons qui, à raison de l'inclinaison du rocher, étaient foncés à des profondeurs différentes, et nous eussions voulu descendre le massif de jonction jusqu'au tranchant du caisson le plus bas, ce que nous n'avons pu faire, parce que la cloche a été arrêtée par le tranchant de l'autre caisson, tranchant qui fait saillie d'environ $0^m,08$ sur la paroi extérieure.

Nous citons ce fait pour montrer par quelles circonstances imprévues on peut se trouver arrêté.

Nous conseillons de plus, si l'on veut faire des jonctions par ce procédé, de veiller à ce que les parois brisées terminant les caissons restent bien planes et qu'on ne rectifie pas leur position pendant le fonçage, afin que la disposition de ces parois à la partie supérieure donne une idée exacte de ce que sont les dimensions du puits sur toute sa hauteur; autrement on pourrait être exposé à des mécomptes en rencontrant des rétrécissements imprévus.

2° Il faut que le terrain ambiant ne rentre pas dans le puits pendant le fonçage. On y arrivera généralement au moyen de battages sérieux et c'est ce qui a été fait ici. Il faut remarquer que, comme on n'exerce pas de succion, mais au contraire une compression, le problème est infiniment plus facile que dans le procédé par épuisement. Il suffit de garnir très approximativement les ouvertures latérales qui communiquent avec le puits, en s'abstenant le plus possible de lâcher la pression dans la cloche, surtout brusquement.

Nous avions affaire à un terrain de sable argileux très fin, cependant nous n'aurions pas eu de difficulté sans une circonstance qu'il est utile de mentionner.

Pendant le fonçage, pour élever les massifs des caissons,

on jetait à haute mer, sur ces massifs, les moellons qu'on devait employer à basse mer. Dans cette opération beaucoup de moellons tombaient à côté des massifs, pénétraient dans le sol et étaient entraînés dans le fonçage, en sorte que, quand on venait ensuite faire des battages, ils se trouvaient souvent absolument arrêtés bien avant qu'on eût atteint la profondeur nécessaire. Cette circonstance a été la principale difficulté qu'on ait rencontrée pour l'exécution des jonctions par épuisement, et elle a compliqué aussi celle des jonctions à l'air comprimé. On s'en est tiré de la manière suivante : on faisait un premier battage le plus près possible des parois extérieures, puis on descendait la cloche. Quand le tranchant de cette cloche était au-dessous du point où les pieux avaient été arrêtés par des pierres, il se déterminait bientôt sous ces pieux un éboulement dans lequel ces pierres se trouvaient souvent entraînées ; on pouvait alors battre les pieux à nouveau et les faire pénétrer plus profondément. Dans le cas contraire, on faisait un second battage à côté (on en a même fait jusqu'à trois, et enfin on est arrivé partout à nettoyer parfaitement les puits jusqu'aux tranchants.

En résumé, quand on aura affaire à un terrain compact tel que du gravier, par exemple, il n'y aura, de ce chef, aucune difficulté. Dans les sables ou terrains analogues on procédera comme nous l'avons fait, et on réussira en général, surtout si l'on s'abstient d'encombrer soi-même le sous-sol de pierres.

Le pis serait de rencontrer des couches alternativement pierreuses et très molles ; on pourrait alors, dans certains cas, se trouver arrêté, et il faudrait recourir à d'autres procédés.

3° Enfin lors du remplissage en béton, quand on remonte la cloche, il faut que le béton qui passe par-dessous la tranche ne soit pas délavé et adhère bien aux parois des puits. C'est là, pensons-nous, le point qui doit préoccuper

le plus les Ingénieurs, et il y a là en effet une difficulté qui résulte surtout des circonstances suivantes :

Il faut toujours pratiquement envoyer dans les cloches un excès d'air comprimé, lequel doit trouver une issue. Quand les caissons sont plongés dans un terrain quelconque, l'air en excès s'échappe lentement par les interstices des tôles ou par le terrain lui-même, mais on n'aperçoit ordinairement aucun mouvement d'eau et généralement, au moins dans les sables où nous avons opéré, le sol sur lequel on marche dans les chambres de travail, est très sec.

Pour favoriser ce résultat, les ouvriers spéciaux ont l'habitude de calfater la tranche avec un peu de glaise.

Quand, au contraire, la tranche plonge directement dans l'eau, les choses se passent différemment. Pour peu que la quantité d'air en excès soit notable, cet air s'échappe par-dessous la tranche, non pas régulièrement, mais par décharges successives et intermittentes, à raison desquelles le plan d'eau prend un mouvement d'oscillation d'autant plus prononcé que les arrivées d'air sont moins régulières et que, le caisson étant plus petit, la masse d'air, plus faible, est par cela même plus sensible à ces variations. Par suite du mouvement d'oscillation dont nous venons de parler, et si l'on ne prend pas des mesures pour l'arrêter, le béton qui passe sous les tranches tend à se délaver et l'on court le risque d'avoir au centre un bon massif de béton et des pierres délavées tout autour.

Voici les mesures et précautions que l'expérience nous a indiquées :

1° Il faut régler le plus exactement possible la vitesse de la machine de compression, ce qui sera d'autant plus facile que la pression sera moins variable, c'est-à-dire qu'il y aura moins de marée.

2° Il faut disposer sur les parois de la cloche un ou plusieurs robinets qu'on ouvre plus ou moins pour donner

issue à l'excès d'air et l'empêcher de s'échapper sous la tranche.

3° Pour favoriser ce dernier résultat, il est bon, contrairement à ce que nous avions cru d'abord, d'opposer au mouvement de l'eau une certaine résistance en tenant toujours la tranche du caisson de $0^m,20$ à $0^m,30$ au-dessous du béton mais pas davantage, sans quoi il deviendrait difficile de faire refluer le béton sous cette tranche.

4° Il faut donc que le mouvement d'ascension de la cloche soit continu et suive à peu près exactement le remplissage.

5° Il faut enfin que le béton soit très gras et ne prenne pas trop vite, ce à quoi on est exposé dans l'air comprimé où il fait très chaud. On a d'abord employé du béton de ciment à 3 de mortier pour 5 de cailloux, et le mouvement d'ascension de la cloche était intermittent. Dans ces conditions le béton situé au centre, en mamelon, durcissait trop vite, il fallait ensuite le piocher pour l'amener sous les tranches, et les cailloux, arrivant pour ainsi dire un à un, avec un mortier pulvérulent, risquaient beaucoup de se délaver. Nous avons alors employé du béton de chaux du Theil à volumes égaux de mortier et de cailloux, le mortier dosé à 400 kilogrammes de chaux pour un mètre cube de mortier. Ce béton a donné de meilleurs résultats : il ne prend pas trop vite et on peut le faire refluer sous la tranche doucement en pressant avec le pied ou avec une pelle.

Par tous ces moyens nous sommes arrivés à un résultat convenable, autant du moins que nous avons pu nous en assurer, car la surveillance est difficile.

Nous avions un surveillant à poste fixe dans le caisson, nous y étions souvent, nous, l'Ingénieur et le Conducteur; l'Entrepreneur y a mis la meilleure volonté et, malgré cela, il nous serait difficile de répondre qu'aucune des précautions indiquées n'ait jamais été négligée par les ouvriers pour accélérer un travail pénible. Il y a là une difficulté

inhérente à la nature des choses et qu'il ne faut pas se dissimuler. Ajoutons cependant que, pour un travail accessoire exécuté en régie, nous avons eu occasion de creuser après coup à 5 mètres de profondeur à côté d'un puits, que nous avons ainsi mis à nu la face du béton sur cette hauteur, et que ce béton, qui avait cependant passé sous la tranche, a été trouvé bien pris et tenant bien l'eau. Nous en tirons bon augure pour les autres jonctions.

En ce qui concerne l'adhérence du béton contre les parois en tôle, elle est évidemment moins bonne que si l'on avait des parois en maçonnerie. mais on peut l'améliorer en s'abstenant de peindre les tôles, précaution indiquée par M. Zschokke.

Nous avons la confiance que nos jonctions donneront un résultat suffisant, eu égard d'ailleurs aux autres conditions de nos barrages : épaisseur des remblais, etc.

L'avenir prononcera à ce sujet.

Il s'agit enfin d'un premier essai ; nul doute que ce procédé ne soit susceptible d'être amélioré ; mais, dès à présent, et tel qu'il a été appliqué ici, il nous paraît susceptible de donner des résultats avantageux dans bien des cas, et c'est pourquoi nous avons cru utile de le faire connaître.

Saint-Malo, le 25 août 1882.

N° 3

CALCUL ET TRACÉ DES PANNEAUX DES VOUTES BIAISES

Par M. D. FORTET, Ingénieur civil.

On se propose de décrire une méthode permettant d'obtenir facilement les panneaux des voussoirs d'une voûte biaise dont les principaux éléments ont été arrêtés dans un projet. On ne s'occupe que des appareils ayant leurs lits engendrés par des droites parallèles aux têtes.

Relations entre les angles des voussoirs. — Imaginons une voûte cylindrique biaise, ayant ses génératrices de douelle horizontales, dont chaque lit soit engendré par une droite qui reste toujours normale à la courbe de tête AC et dans son plan, pendant le déplacement de AC sur la douelle.

Traçons la projection AA′ de AC sur un plan horizontal (Pl. 1, *fig.* 3), puis le joint de tête CM et les tangentes CD, CE, CH à la courbe de tête, à la section droite et au joint du lit sur la douelle.

Désignons par :

B l'angle du biais de la voûte (c'est l'angle aigu des piles),

I l'angle du joint de tête avec AA′,

H l'angle de la tangente au joint de douelle avec les génératrices de la douelle,

S l'angle des tangentes aux courbes de tête et de section droite,

T l'angle dièdre de la tête et du plan tangent à la douelle,

L l'angle du panneau de lit (angle du joint de tête avec la tangente au joint de douelle),

D l'angle dièdre de la tête et du plan tangent au lit.

Le plan tangent à la douelle C contient les trois tangentes CD, CE, CH, et coupe le plan horizontal suivant la droite DEH, qui fait avec AA′ l'angle B ; de plus

l'angle CHD est l'angle H,
l'angle ECD est l'angle S,
l'angle MCH est l'angle L.

Élevons au point C une perpendiculaire CL à CD dans le plan tangent, l'angle MCL sera l'angle T.

Enfin du point H abaissons deux perpendiculaires, l'une HO sur CM, l'autre HN sur CL, l'angle OHN sera l'un des deux angles que font les plans de lit et de tête. En effet, l'un des côtés de l'angle, HO, est dans le plan du lit perpendiculaire à l'intersection CM des deux plans, et l'autre, HN, est parallèle à CD, qui est dans le plan de tête perpendiculaire à CM. On voit du reste que OHN est l'angle du lit avec la tête du voussoir situé à droite de CM, c'est-à-dire qu'il est le supplément de l'angle D.

Nous allons maintenant établir les relations algébriques qui existent entre les différents angles que nous avons construits dans l'espace.

Dans le triangle CDE on a $\sin S = \frac{ED}{CD}$. Si on abaisse la perpendiculaire CG sur AA′ et qu'on joigne GE, cette ligne sera perpendiculaire à ED, d'où $ED = GD \cos B$ et par suite,

$$\sin S = \frac{GD}{CD} \cos B,$$

$$\sin S = \sin I \cos B. \qquad (1)$$

Dans le triangle CML l'angle en M est droit, parce que

ML est l'intersection du plan horizontal et du plan, CML tous deux perpendiculaires au plan de tête ; on a donc :

$$\cos T = \frac{CM}{CL},$$

$$\cos T = \frac{\cot I}{\cot S}. \qquad (2)$$

Dans le triangle COH on a :

$$\cos L = \frac{CO}{CH} = \frac{\cos(S - H)}{CN} CO,$$

$$\cos L = \cos(S - H) \cos T. \qquad (3)$$

Dans le triangle OHN l'angle N est droit, parce que la ligne HN est comme sa parallèle CD perpendiculaire au plan NOC et, par suite, à toute droite ON située dans ce plan ; on aura donc,

$$-\cot D = \frac{HN}{ON} = \frac{HC \sin(S - H)}{NC \sin T} = \frac{\sin(S - H)}{\cos(S - H) \sin T},$$

$$\cot D = -\frac{\operatorname{tg}(S - H)}{\sin T}. \qquad (4)$$

Construction graphique des angles des voussoirs. — Les quatre équations que nous avons obtenues s'appliquent à tous les appareils de ponts biais, dont les lits sont engendrés par des droites qui se meuvent dans des plans parallèles aux têtes, en restant normales aux sections que ces plans font avec la douelle.

Elles s'appliquent donc, notamment, à l'appareil orthogonal et à l'appareil hélicoïdal, quelle que soit du reste la forme de leur courbe de tête. On remarquera qu'elles se simplifient beaucoup dans le cas de l'appareil orthogonal, car alors H étant toujours égal à S, l'angle L devient égal à l'angle T et l'angle D devient droit.

On peut, au moyen des équations qui précèdent, calcu-

ler les angles des voussoirs S, T, L, D, quand on connaît les angles B, H, I; mais il est plus commode de les obtenir par les constructions graphiques qui s'en déduisent et que nous allons décrire.

Faisons passer par un point A les lignes AC, AN, AY (*fig.* 7), formant entre elles des angles consécutifs égaux à B et H, puis menons AB et AX perpendiculaires à AN et AY.

Du point A comme centre décrivons deux circonférences BCN, DFE, l'une de rayon AB arbitraire, l'autre de rayon AD tel que

$$AD = AB \cos B;$$

traçons un rayon AF de la petite, faisant avec AB l'angle I, menons F'FG parallèle à AB, l'angle GAB sera égal à S, car on aura:

$$\sin GAB = \frac{AF'}{AB} = \frac{AF'}{AD} \times \frac{AD}{AB} = \sin I \cos B.$$

Projetons le point F en H sur AG par une parallèle à AN, et prenons sur la circonférence BCN un point K situé à une distance KL = AH du diamètre AY, l'angle KAX sera l'angle T; en effet on aura:

$$\cos KAX = \frac{AH}{AG} = \frac{F'F}{FG} = \frac{\cot I}{\cot S}.$$

Projetons le point H en I sur la circonférence BCN par une parallèle à AY, l'angle IAX sera l'angle L, car on aura:

$$\cos IAX = \frac{AH \cos(S - H)}{AG} = \cos(S - H) \cos T.$$

Traçons PQ, tangente à la circonférence BCN, au point P, où elle rencontre le rayon AX, elle coupera la ligne AG en Q. On porte PQ en LM perpendiculairement à AY, à gauche ou à droite de ce rayon, suivant que PQ est lui-même à droite ou à gauche de AX; l'angle MAX sera l'angle D, car on aura:

$$-\cot \mathrm{MAX} = \frac{\mathrm{PQ}}{\mathrm{AL}} = \frac{\mathrm{PQ}}{\mathrm{AP}}\frac{\mathrm{AP}}{\mathrm{AL}} = \frac{\mathrm{tg}(\mathrm{S}-\mathrm{H})}{\sin \mathrm{T}},$$

Rayons de courbure. — Pour compléter les indications relatives à la construction des panneaux, nous donnerons les relations algébriques qui existent entre les rayons de courbure suivants :

Rayon de courbure	de la courbe de tête	ρ,
—	de sa transformée	ρ_T,
—	de la section droite	ρ_D,
—	de la courbe de lit	ρ_H.

Le centre de courbure au point C de la courbe de tête se trouve à l'intersection m de la normale CM et d'une normale infiniment voisine cm ; le centre de courbure au même point, de cette courbe transformée par le développement de la douelle sur son plan tangent, se trouvera à l'intersection l de CL et d'une normale infiniment voisine cl ; or le plan des deux normales cm, cl est perpendiculaire au plan de tête, puisqu'il est perpendiculaire à CD, il coupera donc le plan CML suivant une ligne ml perpendiculaire au plan de tête et par suite parallèle à ML ; d'où il résulte que les rayons de courbure Cl et Cm sont proportionnels aux lignes CL et CM, c'est-à-dire que

$$\frac{\rho_T}{\rho} = \mathrm{séc}\,\mathrm{T}. \qquad (5)$$

Désignons par Cd, Ce les éléments de la courbe de tête et de la section droite compris entre deux génératrices de douelle infiniment voisines CC′ et ed, et par eC′ la portion d'un joint de douelle passant par e et comprise entre les mêmes génératrices.

Le plan de l'élément de cette dernière courbe, autrement dit son plan osculateur, coupera le plan tangent suivant C′E′ tangente à la courbe en C′, il coupera le plan de section

droite suivant eE' perpendiculaire au plan tangent et par suite à CE' et $C'E'$; abaissons la perpendiculaire dD' sur CD, nous aurons :

$$\rho = \frac{(Cd)^2}{2dD'}, \qquad \rho_D = \frac{(Ce)^2}{2eE'}, \qquad \rho_H = \frac{(C'e)^2}{2eE'},$$

d'où

$$\frac{\rho_D}{\rho} = \left(\frac{CE}{CD}\right)^2 \frac{dD'}{eE'} \qquad \frac{\rho_H}{\rho} = \left(\frac{CH}{CE}\right)^2.$$

Pour trouver le rapport des deux longueurs infiniment petites dD' et eE', abaissons la perpendiculaire dD'' sur le plan tangent, elle sera égale et parallèle à eE', le plan $dD'D''$ sera perpendiculaire à CD, et son angle D' sera l'angle T; ce triangle est donc semblable au triangle CML, et l'on peut écrire :

$$\frac{dD'}{eE'} = \frac{dD'}{dD''} = \frac{CL}{ML} = \frac{CL}{DL \sin B} = \frac{CE}{CD} \times \frac{1}{\sin B};$$

on tire de là :

$$\frac{\rho_D}{\rho} = \frac{\cos^3 S}{\sin B} \quad (6) \qquad \frac{\rho_H}{\rho} = \frac{1}{\sin^2 H}. \quad (7)$$

Application à un exemple. — Nous avons représenté dans les figures 4, 5, 6, l'élévation, le plan et le développement de la douelle d'une voûte à arc de tête demi-circulaire, appareillée en hélice. Nous allons appliquer à la construction des voussoirs le procédé graphique que nous avons décrit.

Les données sont les suivantes :

Rayon de l'arc de tête	$a = 5^m,00$,
Nombre des voussoirs d'une tête	$n = 35$,
Angle du biais	$B = 53°7'48''$,
Largeur de la voûte entre têtes	$l = 5^m,22$.

On commence par calculer la longueur $2s$ de la demi-ellipse de section droite au moyen de la formule connue,

$$2s = \pi a\left[1 - \left(\frac{1}{2}\cos B\right)^2 - \frac{1}{3}\left(\frac{1.3}{2.4}\cos^2 B\right)^2 - \frac{1}{5}\left(\frac{1.3.5}{2.4.6}\cos^3 B\right)^2 - \text{etc.}\right]$$

qui donne :

$$2s = 14^{m},180.$$

On calcule ensuite le biais du pont $2c$ et la longueur g d'une génératrice de douelle,

$$2c = 2a\cos B = 6^{m},000,$$
$$g = l\,\text{coséc}\,B = 6,525.$$

Enfin on détermine la valeur de l'angle hélicoïdal qui, entre autres conditions, doit être tel qu'il projette un nombre entier n' de voussoirs de tête sur chaque pile, en prenant

$$n' = 5,$$

on a (*fig.* 6)

$$\text{tg}\,H = \frac{XY}{AY} = \frac{\frac{n'}{n}2s}{g - \frac{n'}{n}2c} = 0.3574,$$

d'où

$$H = 19^{\circ}40'0''.$$

L'épaisseur e des panneaux de douelle est donnée par la formule

$$e = \frac{g\sin H}{n'} = 0,4393.$$

La *fig.* 7 représente l'épure donnant les angles S, T, L, D, construits comme nous l'avons indiqué, pour les joints d'une moitié de la tête, ce qui suffit, parce que les angles qui se rapportent aux joints de l'autre moitié leur sont égaux ou supplémentaires.

On peut au moyen de cette épure obtenir les panneaux des voussoirs.

D'abord les panneaux de douelle : traçons une ligne ZZ' parallèle à AY et située à une distance de celle-ci égale à e, l'ensemble des lignes AY, ZZ' et des bissectrices AG' des

lignes AG prises consécutivement deux à deux, représentera en vraie grandeur tous les panneaux de douelle, sauf la substitution restant à faire des arcs aux cordes AG′. Cette substitution sera facile du reste, car il est aisé de reconnaître que la flèche de chaque arc sera sensiblement égale au $\frac{1}{8}$ de la distance du point Q à un de ses voisins immédiats.

Pour les panneaux de lit, comme nous connaissons l'angle D, il nous reste à déterminer la courbure du joint de douelle, ou simplement l'ordonnée de son dernier élément par rapport à son premier élément prolongé; cette distance f s'obtient en fonction du rayon de courbure ρ_H et de la longueur d du joint de douelle, par la formule $f = \frac{d^2}{2\rho_H}$, qui devient

$$f = \frac{\sin^2 H \sin B}{2a} \times \frac{d^2}{\cos^3 S} = 0{,}00906 \frac{d^2}{\cos^3 S}.$$

Anduze (Gard), 1er juillet 1882.

N° 4

ÉTUDE

SUR

L'INFLUENCE DES IRRIGATIONS

SUR

L'ALTITUDE D'UNE NAPPE SOUTERRAINE

AVEC APPLICATION AUX IRRIGATIONS PRATIQUÉES A GENNEVILLIERS.

Par M. BAZAINE, ancien élève de l'École Polytechnique
Ingénieur auxiliaire des Travaux de l'État.

Ayant eu l'occasion de nous occuper des irrigations pratiquées à Gennevilliers, au moyen des eaux d'égout de la ville de Paris, au point de vue de l'influence attribuée au déversement sur l'altitude de la nappe souterraine, il nous a paru que quelques-uns des résultats auxquels nous sommes parvenu pouvaient présenter quelque intérêt, eu égard à l'importance du sujet et au petit nombre des documents qui existent sur la question. La ville de Paris s'est trouvée engagée pendant plusieurs années dans une série de procès pour dommages de diverses natures attribués aux irrigations de la plaine de Gennevilliers; procès dans lesquels certains réclamants ont demandé des indemnités considérables. D'autre part, de nombreux et importants projets d'irrigations sont aujourd'hui à l'étude, et les circonstances qui se sont produites à Gennevilliers se pré-

senteront très probablement dans plusieurs localités placées dans des conditions analogues. Bien qu'il soit fort difficile, comme nous le montrerons plus loin, de déterminer d'une manière exacte la part incombant aux irrigations dans la surélévation d'une nappe souterraine, il peut néanmoins être utile d'établir certaines bases bien précises, susceptibles d'éclairer la pratique ou la réglementation des arrosages, et de guider, en cas de procès, les experts chargés d'apprécier les réclamations produites.

Il arrive même souvent, ainsi que cela a eu lieu à Gennevilliers, que l'application de la théorie, tout incomplète qu'elle soit, suffise pour amener l'expert à des conclusions parfaitement nettes, et hâter la solution d'affaires litigieuses d'une nature spéciale et fort complexe, où l'esprit se trouve aisément induit en erreur par de fausses apparences.

Nous diviserons notre étude en trois parties :

1° La théorie mathématique de quelques cas particuliers du mouvement des eaux à travers un sol perméable ;

2° L'application de cette théorie à quelques exemples tirés de la pratique des irrigations à Gennevilliers ;

3° La comparaison des conséquences de cette application avec les faits observés.

CHAPITRE PREMIER.

THÉORIE MATHÉMATIQUE DE QUELQUES CAS DU MOUVEMENT DES EAUX A TRAVERS UN SOL PERMÉABLE.

Nous supposerons qu'une masse d'eau de hauteur connue soit déversée sur une superficie déterminée d'un sol perméable et nous étudierons :

1° Le mouvement vertical de filtration de cette masse à travers le sol ;

2° Le mouvement de cette masse à partir du moment où elle est arrêtée dans sa descente par une surface imperméable sensiblement horizontale.

1° *Mouvement vertical.*

Les formules générales du mouvement de l'eau à travers un sol perméable ont été données par M. l'Inspecteur général Dupuit, dans son ouvrage intitulé : « *Études théoriques et pratiques sur le mouvement des eaux,* » chap. VIII. Il suffira de rappeler ici cette formule.

Soit i, le sinus de l'angle formé avec l'horizontale par la couche liquide ;

u, la vitesse d'une molécule ;

μ, un coefficient qui dépend de la nature du sol filtrant.

On a, pour le mouvement uniforme, comme pour le mouvement varié, une relation unique qui est la suivante :

$$i = \mu u. \qquad (1)$$

La valeur de μ, calculée par M. Dupuit, pour le filtre de gravier étudié par M. l'Inspecteur général Darcy, dans son ouvrage sur *les fontaines de Dijon*, est égale à 1266.

L'équation (1) s'applique sans modification au mouvement vertical de l'eau à travers le sol perméable ; il suffit de faire $i = 1$, et on en tire $u = \frac{1}{\mu}$, pour la vitesse commune de toutes les molécules.

Pour $\mu = 1\,266$, on a : $u = 0^m,0008$.

Connaissant l'épaisseur e du sol filtrant, on aura le temps θ employé par la masse liquide pour atteindre la couche imperméable par la formule connue :

$$\theta = \frac{e}{u}.$$

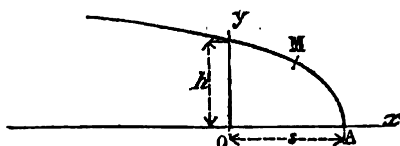
2° *Mouvement parabolique.*

M. l'Inspecteur général Dupuit a démontré que dans le cas où la déclivité du sous-sol est nulle ou très faible, l'équation générale du profil d'une masse liquide en mouvement se réduit à celle d'une parabole. Il est facile d'arriver directement au même résultat.

Soient : h, la hauteur occupée dans le sol par la masse liquide, en un point choisi comme origine des coordonnées ;

m, le rapport des vides aux pleins dans le sol considéré ;

q, le débit par unité de largeur de la couche filtrante.



En un point quelconque M du profil d'une section verticale faite dans la masse liquide, on a les relations :

$$q = myu, \qquad -\frac{dy}{dx} = \mu u,$$

à cause de la petitesse de l'angle de la vitesse u avec l'horizontale ;

d'où, en éliminant u :

$$-ydy = \frac{\mu}{m} qdx,$$

et en intégrant entre o et x :

$$(2) \qquad h^2 - y^2 = \frac{2\mu q}{m} x,$$

équation d'une parabole dont l'axe coïncide avec l'axe des x, et dont le sommet a pour abscisse :

$$\text{OA} = s = \frac{m}{2\mu q} h^2.$$

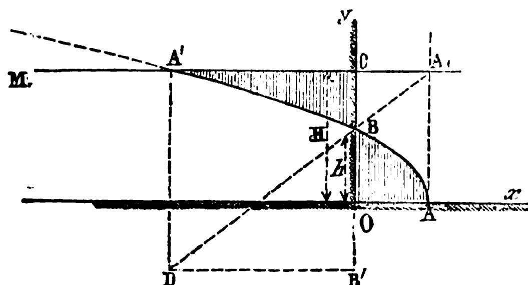
On peut aussi écrire l'équation (2) sous la forme :

$$h^2 - y^2 = \frac{h^2}{s} x, \tag{5}$$

qui met en évidence les deux paramètres h et s, dont il s'agit d'étudier les variations en fonction du temps.

Nous considérerons, dans cette étude, deux cas qui correspondent à deux phases distinctes du mouvement. Dans la première, la masse liquide se répand en dehors du périmètre arrosé, de manière que le sommet s'éloigne de plus en plus dans le sens des x positifs, tandis que la branche positive de la parabole vient rencontrer le niveau initial à des distances constamment croissantes dans le sens des x négatifs. Le même fait se produit à l'extrémité opposée de la section verticale considérée, de sorte que les deux branches positives des deux paraboles marchent à la rencontre l'une de l'autre.

A partir du moment où ces deux branches se sont rencontrées, la masse tout entière continue à s'étaler mais en diminuant constamment de hauteur en chaque point. Le point d'intersection des deux paraboles se déplace sur une verticale, située, si le terrain a partout une composition identique, au milieu de la section verticale considérée. C'est la deuxième phase du mouvement.



1° *Première phase.* — Soit Oy, une verticale passant par le périmètre du terrain arrosé, OC = H la hauteur initiale

occupée par la masse liquide, A'BA l'arc de parabole qui termine le profil de cette masse. Les axes étant choisis comme l'indique la figure, et h et s conservant la signification de l'équation (3), on obtiendra la distance $CA' = s'$ où la parabole rencontre le niveau initial MC en faisant dans l'équation (3) $y = H$, $x = -s'$, d'où :

$$s = \frac{m}{2\mu q}(H^2 - h^2)$$

et par suite :

$$\frac{s'}{s} = \frac{H^2 - h^2}{h^2}.$$

Pour définir le mouvement du sommet A, nous remarquerons qu'à un instant quelconque t, les aires curvilignes BOA, BCA' sont équivalentes.

Il résulte de cette condition que les paraboles AA' passent par un point fixe B. En effet, l'équivalence des aires se traduit par la relation :

$$\frac{2}{3} hs = \frac{1}{3}(H - h)s',$$

d'où :

$$\frac{s'}{s} = \frac{2h}{H - h},$$

et :

$$\frac{H^2 - h^2}{h^2} = \frac{2h}{H - h}.$$

La hauteur h est donc constante et donnée par l'équation du troisième degré :

$$(H - h)^2 (H + h) - 2h^3 = 0.$$

Sous cette forme on voit aisément que l'équation a une seule racine positive, inférieure à H, et on trouve pour la valeur approximative de cette racine :

$$h - 0{,}544\, H$$

La relation $\frac{s'}{s}=\frac{2h}{H-h}$ permet de déterminer très simplement le point A'. On en déduit en effet : $\frac{s+s'}{s}=\frac{H+h}{H-h}$. Il suffit donc de prolonger CO d'une longueur $OB'=OB$, de prendre $CA_1=OA$, de joindre A_1B, qui rencontre en D l'horizontale du point B', et de projeter D en A' sur MC. On a $A_1A'=DA'\times\frac{A_1C}{CB}$.

L'équation du mouvement du sommet A peut s'obtenir comme il suit. On a évidemment :

$$qdt=\frac{2}{3}mhds;$$

On a trouvé plus haut :

$$q=\frac{m}{2\mu}\frac{h^2}{s};$$

d'où :

$$sds=\frac{3}{2}\frac{h}{2\mu}dt,$$

et en intégrant entre o et t :

$$(4)\qquad s=\sqrt{\frac{3}{2}\frac{h}{\mu}t},$$

et

$$(4\ bis)\qquad s'=\frac{2h}{H-h}\sqrt{\frac{3}{2}\frac{h}{\mu}t}=2{,}38s.$$

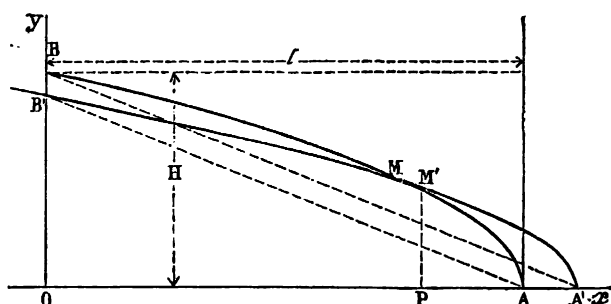
Deuxième phase. — Soit BMA la parabole initiale ; on a :

$$OB=H,\quad l=OA=S+L$$

(en appelant 2L la largeur de la section verticale considérée). Le mouvement du sommet A est défini par la condition que l'aire curviligne BOA reste constante. Les axes étant choisis comme l'indique la figure, soient α l'ordonnée à l'origine et σ l'abscisse du sommet d'une parabole B'MA', on aura :

$$\alpha\sigma=Hl,$$

relation qui permet de trouver le point A′ étant donné le point B′; il suffit en effet de joindre B′A et de mener la parallèle BA′.



Si dans l'équation (3) on remplace h par α et s par σ ou $\frac{Hl}{\alpha}$, on a l'équation générale des paraboles B′MA′ avec un seul paramètre variable α :

$$(5) \qquad \alpha^2 - y^2 = \frac{\alpha^3}{Hl} x.$$

Sous cette forme, on peut voir que la parabole se déplace en restant tangente à une hyperbole équilatère. Si l'on dérive en effet l'équation (5) par rapport à α, on trouve :

$$(6) \qquad \frac{2}{3} Hl - \alpha x = o,$$

équation d'une droite verticale M′P ; et en éliminant α entre les équations (5) et (6) il vient :

$$(7) \qquad xy = \pm \frac{2}{3} \frac{Hl}{\sqrt{3}};$$

le signe + convient seul au problème.

Le point de tangente M′ s'obtient en prenant :

$$OP = \frac{2}{3} OA'.$$

En outre, on a :

$$MP = \frac{2}{3} \frac{Hl}{OP \times \sqrt{3}} = \frac{Hl}{\sigma\sqrt{3}}.$$

L'équation du mouvement du sommet A s'obtient comme il suit.

On a évidemment :

$$qdt = \frac{2}{3} m \times M'P \times d\sigma;$$

or :

$$q = \frac{m}{2\mu} \frac{\alpha^3}{Hl};$$

en remplaçant M'P par sa valeur, α par $\frac{Hl}{\sigma}$ et supprimant les facteurs communs, il vient :

$$\frac{4\mu}{3\sqrt{3}} \sigma^2 d\sigma = Hl\,dt;$$

soit T la valeur de t à l'origine de la deuxième phase ; en intégrant entre l et σ et extrayant les racines cubiques, on trouve :

$$(8) \qquad \sigma = \sqrt[3]{l^3 + \frac{q\sqrt{3}}{4\mu} Hl(t - T)}.$$

La deuxième phase se relie à la première au moyen des formules :

$$l = s + s' = \frac{H + h}{2h} s' = \frac{1.544}{1.088} L,$$

$$s = \frac{1.088}{0,456} L, \quad T = \frac{2}{3} \frac{\mu}{0,544} \left(\frac{1.088}{0,456}\right)^2 \frac{L^2}{H}.$$

CHAPITRE II.

APPLICATION DE LA THÉORIE PRÉCÉDENTE A QUELQUES EXEMPLES, TIRÉS DE LA PRATIQUE DES IRRIGATIONS A GENNEVILLIERS. — DÉTERMINATION DES DONNÉES.

1° *Coefficient* μ. — Le sol dans lequel se meut la nappe à Gennevilliers est un mélange de sable et de gravier en proportions très variables. Il y aurait donc lieu d'évaluer dans chaque cas le coefficient à appliquer, en répétant les expériences de M. Darcy, citées par M. l'Inspecteur général Dupuit. Mais on n'arriverait par là à aucun résultat précis, la composition du sol, le degré de tassement ou les dimensions des particules variant sans transition d'un point à un autre. On peut d'ailleurs estimer que la valeur de μ sera comprise entre les deux valeurs extrêmes trouvées par M. Dupuit ; la première ($\mu = 1\,266$) correspond à un filtre composé d'éléments grossiers, pour lequel le rapport m des vides aux pleins atteint 0,38 ; la deuxième ($\mu = 5\,760$) correspond à un sable fin pour lequel m se réduit à 0,30. Or, en adoptant dans les applications la première valeur, on exagère celles de s et s' ; en effet, si d'un côté le coefficient m qui entre dans le calcul de H doit, en réalité, être plus petit que 0,38, tout en ne variant pas de plus de $\frac{1}{5}$ environ de cette valeur, d'autre part, le coefficient μ doit être augmenté dans une proportion variable d'environ 1 à $4\frac{1}{2}$; par suite le nombre $\frac{h}{\mu}$ est dans la pratique inférieur à la valeur calculée pour $m = 0{,}38$ et $\mu = 1\,266$.

On se place donc, par cette hypothèse, dans les conditions les plus défavorables.

2° *Valeur de* H. — Cette valeur se déduit de celle de l'épaisseur de la couche déversée sur le sol en divisant

cette dernière par le coefficient *m*, pour lequel nous admettons, comme il est dit ci-dessus, la valeur 0,38.

L'épaisseur de la couche déversée dans un arrosage est tirée des tableaux dressés, à partir de janvier 1875, par le service des irrigations, donnant les volumes d'eau déversés sur la plaine par arrosage et par hectare. Ces tableaux présentent la forme suivante :

MOIS.	VOLUMES totaux par mois.	SURFACE totale irriguée.	SURFACE irriguée par jour.	PÉRIODE entre deux arrosages.	NOMBRE d'arrosages par mois.	CUBE du mois par hectare.	CUBE par arrosage et par hectare.
1	2	3	4	5	6	7	8

Les chiffres des colonnes 4 et 7 sont des moyennes des relevés journaliers des agents de l'Administration ; ceux de la colonne 5 sont les quotients des chiffres correspondants des colonnes 3 et 4 ; ceux de la colonne 6 s'obtiennent en divisant le nombre des jours du mois par les chiffres de la colonne 5. Enfin on obtient la colonne 8 en divisant les chiffres de la colonne 7 par ceux de la colonne 6.

Les nombres ainsi calculés, divisés par 10 000, donnent les hauteurs moyennes de déversements uniques équivalents au déversement continu qui constitue chaque arrosage. Leurs valeurs maxima correspondent à mai et décembre 1875 et à mai 1876.

Mais ce ne sont pas ces nombres qui doivent entrer dans les formules établies ci-dessus. Ils doivent être préalablement diminués de la hauteur correspondante au volume absorbé par la végétation ou par l'évaporation, donnée qui ne peut être fournie que par l'expérimentation et sur laquelle il existera toujours quelque incertitude.

A la suite d'expériences faites pendant l'été de 1879 dans les anciens bassins d'épuration des Grésillons, M. Marié-Davy, directeur de l'Observatoire de Montsouris, a cru pouvoir fixer à un chiffre moyen de 550 mètres cubes par hectare la quantité d'eau absorbée dans chaque arrosage, par la végétation ou l'évaporation, dans ses cultures d'essai, comprenant celles en usage dans la plaine de Gennevilliers. Mais il est évident que ce chiffre ne saurait être adopté sans modifications dans les formules. En premier lieu, le déversement effectué, surtout pendant certaines années (1875-1876), sur un hectare déterminé, a varié dans des limites étendues, d'un jour à l'autre et, bien entendu, d'une saison à l'autre, tout en ne dépassant point une limite, assez indécise, imposée par l'expérience des arrosants. Le chiffre de 550 mètres cubes a donc souvent été dépassé dans les arrosages, et il serait inexact de ne pas tenir compte de l'excédent qui a dû filtrer jusqu'à la nappe. En d'autres termes, la hauteur moyenne à retrancher de celle du déversement, comme ne donnant pas de filtration jusqu'à la nappe, doit être abaissée au-dessous du chiffre de $0^m,055$.

En second lieu, il faut tenir compte de la perte provenant de l'eau qui séjourne dans les rigoles principales, sous une épaisseur supérieure à la moyenne existant dans le reste de la parcelle.

Nous avons estimé que ces diverses quantités d'eau perdues pour l'irrigation et filtrant à la nappe constituaient environ 20 p. 100 du volume total déversé, ce qui nous a conduit à fixer à 400 mètres cubes, au lieu de 550 mètres cubes, le volume à attribuer à l'absorption par les plantes et à l'évaporation, et par suite à retrancher $0^m,04$ des hauteurs moyennes de la colonne 8 du tableau ci-dessus.

Application des formules. — Si nous prenons comme exemple le mois de mai 1876, le tableau nous donne comme hauteur moyenne par arrosage $0^m,086$; la période entre deux arrosages sur un hectare déterminé a été de

4 jours $\frac{1}{2}$, et par suite le nombre d'arrosages dans le mois de 6 $\frac{1}{2}$.

On aura donc :

$$H = \frac{0,086 - 0,04}{0,38} = 0^{m},121 ;$$

$$h = 0,544\ H = 0^{m},066 ;$$

et

$$\sqrt{\frac{3}{2}\frac{h}{\mu} \times 86\,400} = 2,6 \quad \text{(formule 4)} ;$$

(t devra être exprimé en jours).

Connaissant la valeur s_1 de s au moment du deuxième arrosage, on aura les autres valeurs s_2, s_3.,.s_6, au moment des troisième, quatrième..., septième arrosages, en multipliant respectivement s_1 par $\sqrt{2}$, $\sqrt{3}$... $\sqrt{6}$. Enfin les valeurs de s' s'obtiennent en multipliant celles de s par le nombre 2, 38.

On forme ainsi le tableau suivant :

$s_1 = 2,6\sqrt{4,5} =$	$5^{m},51$	$s'_1 = 2,38 \times s_1 =$	$13^{m},11$
$s_2 = \sqrt{2}\ s_1 =$	$7^{m},77$	s'_2	$= 18^{m},49$
$s_3 = \sqrt{3}\ s_1 =$	$9^{m},53$	s'_3	$= 22^{m},68$
$s_4 = 2\ s_1 =$	$11^{m},02$	s'_4	$= 26^{m},22$
$s_5 = \sqrt{5}\ s_1 =$	$12^{m},94$	s'_5	$= 29^{m},37$
$s_6 = \sqrt{6}\ s_1 =$	$13^{m},50$	s'_6	$= 32^{m},13$

Les formules 4 et 4 *bis* s'appliquent aux arrosages suivants comme au premier, à cause de la faible courbure des paraboles. Il s'ensuit qu'au moment du septième arrosage, c'est-à-dire après la fin du mois considéré, le profil de la masse liquide se trouvera formé d'une série de 6 paraboles superposées, dont les sommets seront respectivement à des distances du périmètre marquées par

s_1 s_2.. s_6. La hauteur mouillée sur le périmètre sera égale à $6 \times 0^m,066 = 0^m,396$.

Si le même régime avait été poursuivi pendant une année entière (hypothèse qui n'a aucune réalité pratique) on aurait au moment du quatre-vingt-deuxième et dernier arrosage :

$$s_{81} = 9s_1 = 49^m,59.$$

On voit par là sur quelle zone très restreinte, autour des terrains arrosés, les irrigations ont pu exercer leur influence pour relever le niveau de la nappe souterraine.

Mais, d'autre part, à l'intérieur du périmètre arrosé, les hauteurs vont en s'accumulant et pourraient atteindre quelques mètres, si le déversement s'effectuait toujours avec la même abondance et que la nappe restât immobile. On verra plus loin ce qui se passe réellement dans la plaine de Gennevilliers.

Nous pourrons donc résumer par les conclusions suivantes les résultats de l'application de la théorie à l'effet des irrigations sur le niveau de la nappe :

1° Dans l'enceinte de la zone irriguée, les déversements peuvent atteindre des hauteurs considérables, s'ils se succèdent pendant un temps assez long et dans d'assez fortes proportions.

2° En dehors de la zone irriguée, le bombement disparaît à une faible distance du périmètre (moins de 50 mètres), et ne se propage qu'avec une extrême lenteur.

Il nous reste à faire voir dans quelle mesure ces conclusions sont conformes aux faits observés.

CHAPITRE III.

COMPARAISON DES RÉSULTATS DE LA THÉORIE AVEC LES FAITS OBSERVÉS DANS LA PLAINE DE GENNEVILLIERS (*).

Avant de nous occuper de la comparaison qui fait l'objet de ce chapitre, il est nécessaire de donner quelques indications sur le régime hydrologique de la presqu'île de Gennevilliers.

Antérieurement à l'origine des irrigations, on ne s'est pas occupé d'une manière suivie des oscillations de la nappe souterraine; le seul document qu'on possède à ce sujet est la carte hydrologique dressée par M. l'Ingénieur en chef Delesse, en 1857. Mais dès 1873, à la suite du premier procès intenté à la ville de Paris pour dommages causés dans divers carrières de la plaine par le déversement des eaux d'égout, le service municipal fit relever périodiquement l'altitude de la nappe dans un certain nombre de puits; en 1875 les observations furent étendues à diverses localités situées en dehors de la presqu'île, telles que : Argenteuil, Colombes, Bezons, Houilles, Sartrouville, Maisons.

Ces dernières permettent d'étudier l'allure naturelle de la nappe et de suppléer, par suite, au manque de renseignements sur l'époque antérieure à 1873.

Irrégularité de forme de la nappe.—La carte de M. Delesse indique l'état de la nappe dans l'une des années les plus sèches qui se soient produites en deux siècles, d'après M. l'inspecteur général Belgrand (enquête de 1876); les

(*) *Nota.* — Nous devons la majeure partie des renseignements sur les allures de la nappe à Gennevilliers et dans les localités voisines, à l'obligeance de notre camarade A. Durand-Claye, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, attaché au service municipal. Les autres renseignements ont été relevés directement par M. Hutteau, Ingénieur expert, et par nous, dans nos études sur les causes des inondations d'un grand nombre de propriétés situées dans la plaine de Genevilliers.

indications en sont donc fort intéressantes comme minima d'altitude de la nappe. Mais on y trouve en outre la constatation, fort importante, du fait de l'*irrégularité de la surface de la nappe* dans la presqu'île de Gennevilliers, fait sur lequel il est utile d'insister, puisque non seulement il a été contesté, mais que le contraire, c'est-à-dire *l'horizontalité absolue et nécessaire de la nappe* a été, sans démonstration d'ailleurs, admis comme principe dans diverses études faites sur la question.

La forme accidentée et irrégulière de la surface de la nappe est attestée en plusieurs points sur la carte hydrologique par les sinuosités nombreuses des courbes de niveau en trait bleu, qui n'ont aucune relation avec celles du terrain. Mais un examen plus approfondi fait découvrir des irrégularités d'une signification plus précise encore, dont nous trouvons des exemples sans sortir de la presqu'île de Gennevilllers.

Ainsi l'on trouve au moulin de la Tour la cote 24,30, et à l'entrée du village la cote 24,60, indiquant une pente de la nappe inverse à la fois de celle du terrain et du sens dans lequel se produit l'alimentation par les eaux provenant des coteaux du mont Valérien.

Une anomalie analogue et encore plus remarquable se rencontre à Asnières (*voir* Pl. 2, *fig.* 1). Les deux puits C, D, portent les cotes bleues 23,4 et 24,5 ; leur distance est de 212 mètres, et les cotes du sol y sont respectivement 32,2 et 32,1. La pente de la nappe est donc entre ces deux points de plus de 0,005, en sens inverse de celle du terrain, qui est de 1/2000 environ.

Il y a plus : si l'on détermine le profil de la nappe suivant la ligne brisée ABC DEF de la figure 1, Pl. 2, on obtient la ligne représentée figure 2, A.

Nous retrouvons un fait analogue à Colombes, dans les relevés d'altitudes effectués par la Ville aux puits Guerlain et Jacquet (1877-1878-1879) ; entre ces deux puits la nappe

présente généralement une pente inverse de celle du sol et aussi du sens dans lequel s'opère l'alimentation; il y a eu exception pendant quelques jours du mois de mars 1879, où le sens de la pente s'est trouvé renversé (*fig.* 2, B).

Irrégularité du mouvement de la nappe. — L'assimilation de la surface de la nappe à celle d'un cours d'eau régulier est donc absolument inexacte; mais le dernier fait cité montre en outre que les mouvements de la nappe n'ont pas lieu parallèlement à eux-mêmes, contrairement à une autre opinion qui a été soutenue. Il suffit, pour s'en convaincre, d'examiner la figure 2, D, qui donne les différents profils relevés, d'après les documents dressés par le service des irrigations, à Houilles et à Bezons, aux dates des 1er mars 1877 et 15 mars 1879.

Nous n'entreprendrons pas de rechercher les causes des phénomènes que nous venons de citer; pour parvenir à les assigner avec quelque précision, il faudrait se livrer à une étude longue et minutieuse de la composition physique du sol, des données météorologiques, du mode d'alimentation, de progression et d'écoulement de la nappe dans la presqu'île de Gennevilliers. On sait d'ailleurs que la question beaucoup plus simple des relations entre les crues des cours d'eau et les quantités de pluie tombée dans un bassin hydrographique n'a pu encore être résolue avec quelque certitude, et que les règles en usage dans le service hydrologique de la Seine sont fondées sur des observations d'une nature particulière. Nous nous contenterons de citer quelques-unes des causes qui, suivant nous, peuvent déterminer la forme et le mouvement de la nappe.

1° *La quantité de pluie tombée et la saison dans laquelle cette chute a eu lieu* (*voir* l'ouvrage de M. Belgrand, intitulé *la Seine*);

2° *La nature physique, plus ou moins compacte, plus ou moins homogène, du sol;* cet élément influe sur la

vitesse de propagation de la nappe et, par suite, sur la forme de la surface;

3° *L'épaisseur du sol perméable*, les phénomènes de remous étant proportionnels à la hauteur de la masse en mouvement (Dupuit, *Études théoriques et pratiques*, etc.);

4° *Le mode d'écoulement dans la Seine;* cet écoulement se produit au-dessous d'une sorte d'immense barrage naturel formé par un dépôt de limon imperméable, très variable en épaisseur et en profondeur, qui règne le long des rives de la Seine, et qui a pour effet d'amener une surélévation de la nappe dans la presqu'île; surélévation variable elle-même avec l'épaisseur de la masse d'eau, avec l'épaisseur et la largeur du dépôt limoneux;

5° *Le niveau des crues de la Seine*, qui sont suivies dans un délai plus ou moins long, de crues de la nappe (Enquête de 1876; M. Belgrand);

6° *La situation topographique de la plaine de Gennevilliers*, entre un coteau à fortes pentes, où la nappe prend naissance, et la Seine, qui entoure la plaine de trois côtés; cette disposition a pour effet de donner aux courants souterrains des directions très variables, sur lesquelles viennent encore influer les deux causes relatées ci-dessus, le défaut d'homogénéité du sol et la présence du bourrelet imperméable..

Les phénomènes que présente la nappe, sous l'action de ces diverses causes, peuvent être résumés ainsi qu'il suit:

1° *Crue annuelle;* très variable comme hauteur, dépendant tant des conditions météorologiques que de l'état de saturation du sol, c'est-à-dire, du plus ou moins de sécheresse de l'année précédente. Cette crue a atteint dans certaines localités, en 1877 et 1879, des proportions exceptionnelles, ainsi que le montre le tableau suivant, qui donne les oscillations extrêmes pour chaque année;

LOCALITÉS.	PUITS observés.	1876 minimum.	1876 maximum.	1876 différence.	1877 minimum.	1877 maximum.	1877 différence.	1878 minimum.	1878 maximum.	1878 différence.	1879 minimum.	1879 maximum.	1879 différence.	OBSERVATIONS.
		m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.		m.	m.	m	
Colombes. . . .	Guerlain.	25,45	26,20	0,75	25,40	26,40	1,00	25,64	26,10	0,46	25,56	26,90	1,34	
	Jacquet.	»	»	»	24,90	26,05	1,15	25,18	25,60	0,42	25,20	26,84	1,64	
Bezons.	Dolmas.	»	»	»	24,10	25,46	1,36	24,30	25,04	0,74	23,60	26,34	2,74	
	Retrou.	»	»	»	24,30	25,72	1,42	24,48	25,20	0,72	24,53	26,94	2,41	
Houilles.	Jacquet.	»	»	»	24,56	26,68	2,12	24,80	26,04	1,24	25,40	28,40	3,00	
Gennevilliers. .	Bazile.	25,94	26,65	0,71	26,52	26,90	0,38	26,36	26,89	0,53	26,44 / 25,76	26,96	0,52 / 1,20	

Nous avons inséré dans ce tableau un puits de Gennevilliers pour montrer que les oscillations en sont beaucoup moins accusées que dans les autres localités.

Le fait du relèvement général de la nappe par rapport au niveau constaté dans la carte de M. Delesse est mis en évidence par les profils (*fig.* 2, B, C, D) (*). Le premier passe par les puits Jacquet et Guerlain à Colombes, les Quatre-Chemins, la Redoute, le puits Bazile et la mare Pommier à Gennevilliers; le second s'étend du puits Aubarède à Asnières, au puits Crépin à Gennevilliers, en passant par la mare du pré Marchais; le troisième comprend les puits Jacquet, à Houilles, Retrou et Delmas à Bezons (*voir* le plan, *fig.* 1). (Dans le profil, figure 2, B, les cotes tirées de la carte hydrologique ne correspondent pas aux puits Jacquet et Guerlain, mais à un puits voisin du puits Jacquet, et au puits de la station de Colombes. Les cotes différaient probablement fort peu en 1857 entre ces divers points.)

Les crues périodiques ont en général lieu au printemps, mais l'époque de leur commencement et leur durée sont aussi variables que leur intensité et subissent en outre l'influence des crues de la Seine.

2° *Crues accidentelles* — dues au refoulement exercé sur la nappe lors des fortes montées de la Seine ; très nettes dans certaines années (1876-1877-1879), confondues avec la crue périodique pour d'autres.

M. l'Inspecteur général Belgrand a attiré l'attention sur le fait du retard du maximum de la crue de la nappe sur celui de la Seine, retard dû à la combinaison des effets de la crue naturelle de la nappe et de la crue accidentelle pendant l'été.

3° *Oscillations irrégulières*, sur certains points, particu-

(*) Le barrage de Bezons maintient aujourd'hui en temps d'étiage le niveau de la Seine à la cote 24, tandis qu'avant son fonctionnement régulier, cet étiage était voisin de la cote 21 à 22. Il y a donc impossibilité pour la nappe de retrouver ses anciennes cotes, notamment au voisinage de la Seine.

lièrement près des rives de la Seine, par suite d'une plus grande sensibilité de la nappe aux mouvements du niveau du fleuve.

4° *Indépendance des hauteurs moyennes de la nappe en deux points, et du niveau relatif de ces points* exemple: les puits Guerlain et Jacquet à Colombes.

5° *Dans les années de fortes crues, niveau général plus élevé à Gennevilliers qu'à Colombes ou Asnières;* cette élévation augmente quand on se rapproche de la Seine, conséquence de la présence du bourrelet limoneux imperméable (*voir* les coupes *fig.* 2, A, B).

Comparaison entre les résultats de la théorie et les faits observés dans la plaine. — Il ressort de l'examen que nous venons de faire du régime hydrologique de la presqu'île de Gennevilliers, qu'il est fort difficile de vérifier par l'expérience les deux principes que nous avons établis comme conséquence de notre théorie. Prenons, par exemple, la carrière Varangot, située au milieu des terrains irrigués. Si le niveau de la nappe souterraine restait invariable, on devrait trouver, dans certaines années comme 1874, 75, 76, où les déversements par hectare ont notablement dépassé la limite de 400 mètres cubes par arrosage, une relation constante entre les cubes d'eaux déversés et la hauteur de la nappe. Rien de pareil ne s'aperçoit sur la figure 3, qui met en regard ces deux éléments pour l'année 1875; il suffit d'examiner ce qui s'est passé en mars, mai, août, novembre et décembre; l'indépendance du déversement et de l'altitude de la nappe semble complète, contrairement aux conclusions de la théorie. Tout ce que l'on peut dire, d'une manière générale, à la suite de l'examen des diagrammes, c'est que l'influence des irrigations se manifeste dans la carrière Varangot par des oscillations plus brusques, plus irrégulières, et d'une plus grande intensité qu'aux points éloignés du périmètre des arrosages. Ce qui prouve bien d'ailleurs l'action prédominante des mouvements

propres de la nappe, c'est qu'en 1877, année où les déversements ont été beaucoup plus modérés qu'en 1875 (l'excédent par hectare sur le chiffre de 400 mètres cubes par arrosage n'a été que de 29 p. 100 de la totalité au lieu de 47 p. 100), on trouve au 1er juin une baisse de 40 centimètres, après un mois de forts arrosages, tandis qu'en juillet, un arrosage beaucoup plus modéré (300 mètres cubes en moins) est suivi d'une élévation de $0^m,60$ Mais ces faits s'expliquent dans une certaine mesure en considérant les diagrammes de la nappe à Colombes, Bezons et Houilles; on remarque alors que la baisse du 1er juin est générale dans ces trois localités, et qu'au 15 juillet il se produit dans les deux premières un relèvement correspondant au second maximum de la carrière Varangot.

Les mêmes causes rendent également fort difficile la vérification de la deuxième conséquence de la théorie par l'examen des diagrammes de la nappe en des points situés en dehors du périmètre des arrosages. Tandis qu'au puits Bazile (*voir* la figure 3) les oscillations sont généralement remarquables par leur lenteur et leur faiblesse, au puits Crépin, distant du précédent de 675 mètres, elles sont au contraire très brusques et souvent d'une intensité considérable, bien qu'on n'aperçoive aucune raison de cette différence d'allures. On retrouve d'ailleurs les mêmes anomalies dans des localités éloignées de Gennevilliers, comme Bezons, où les allures de la nappe sont très différentes aux puits Retrou et Delmas; les oscillations du niveau dans ce dernier puits sont au moins aussi étendues que celles du puits Crépin, à Gennevilliers.

CONCLUSION.

Les diagrammes des mouvements de la nappe ne peuvent donc servir dans aucun cas à se rendre un compte exact de l'influence des irrigations ; s'il est impossible de

constater cette influence quand elle existe, *à fortiori* ne peut-on davantage vérifier les conclusions de la théorie, là où elles sont négatives. Il est néanmoins très important d'observer qu'aucun fait précis, de quelque nature qu'il soit, ne vient les combattre.

Il n'y aurait qu'un seul moyen d'opérer cette vérification, utile, sinon indispensable : l'expérience directe sur un sol reposant sur une couche imperméable et ne contenant pas de nappe souterraine ; par exemple, un terrain d'alluvions sableuses ou graveleuses, entièrement livré à la culture (afin d'éliminer l'influence des pluies locales) et séparé des coteaux par une tranchée destinée à arrêter toute formation d'une nappe souterraine.

Quoi qu'il en soit, l'absence d'une vérification expérimentale ne saurait faire condamner une théorie fondée sur des bases aussi précises que les lois établies par MM. Darcy et Dupuit. Pour arriver à admettre, comme l'ont fait certaines personnes, que les mouvements de la nappe se propagent dans le sol avec une grande rapidité et que, par suite, la forme de cette nappe est régulière et invariable, il faudrait pouvoir prouver que les coefficients entrant dans les formules sont grossièrement erronés, et y en substituer d'autres plus exacts. C'est ce qui n'a jamais été fait, et jusqu'à présent les objections se sont toujours adressées aux conséquences sans remonter aux principes.

Application aux réclamations produites par divers habitants de la plaine de Gennevilliers. — Quelques procès ont été intentés par un certain nombre d'habitants de la plaine de Gennevilliers contre la ville de Paris, pour dommages causés dans leurs propriétés par les inondations qu'ils attribuaient aux irrigations.

Les considérations qui précèdent eussent conduit à écarter immédiatement tous les réclamants dont les propriétés ne sont pas enclavées dans le périmètre irrigué ou situées à des distances de quelques mètres; l'administration mu-

nicipale eût dû notamment se trouver déchargée de toute indemnité vis-à-vis des propriétaires de caves situées dans le village ou de terres sises le long du fossé de l'Aumône ou dans les dépressions de terrain, comme le pré Marchais (*voir* la carte, *fig.* 1), les dommages subis par ces propriétés ne pouvant être attribués qu'au gonflement naturel de la nappe. Mais la même conclusion n'aurait pu s'appliquer aux propriétaires de carrières ou de jardins maraîchers contigus aux terrains irrigués, et un examen minutieux eût été nécessaire dans ce cas pour se prononcer sur la justesse des réclamations produites.

Aperçu sur les causes du gonflement exceptionnel de la nappe de 1873 *à* 1880. — Il est intéressant de rechercher à quelle cause on peut attribuer ces phénomènes de gonflement exceptionnel de la nappe qui ont eu lieu dans la plaine depuis 1873, et dont l'apparition, coïncidant avec l'établissement des irrigations, a pu si naturellement en être considérée comme la conséquence.

Bien qu'on ne puisse préciser nettement en pareille matière (puisque, comme nous l'avons dit plus haut, la même question n'a pu encore être résolue à propos des crues des cours d'eau), nous croyons que les deux observations qui suivent pourront suffire à donner une explication générale :

1° Il s'est produit depuis 1872 une succession de quelques années qui doivent recevoir la qualification d'*humides*, dans le sens attribué à ce mot par M. l'Inspecteur général Belgrand; ainsi en 1873, 1875, 1876, 1877, 1878 et 1879 les quantités de pluie tombées à Asnières, sans être très-considérables pour l'année entière, ont été assez importantes dans la saison froide pour amener une montée extraordinaire des cours d'eau et en même temps des nappes qui les alimentent. La Seine a éprouvé coup sur coup des crues en décembre 1872, janvier 1873, janvier et novembre 1875, mars 1876, février, mars et décembre 1877, avril, mai et

novembre 1878, et enfin janvier et février 1879; quelques-unes de ces crues doivent compter parmi les plus hautes du siècle. Le contre-coup s'est produit sur la nappe de Gennevilliers, avec cette différence que les crues ont été beaucoup plus longues et que la saturation du sol a eu, en quelque sorte, pour effet de les superposer, c'est-à-dire d'amener un relèvement général du niveau, qui a été particulièrement sensible dans la presqu'île de Gennevilliers pour les motifs indiqués plus haut (p. 51). Nous avons d'ailleurs montré que ce relèvement s'était produit aussi bien à Houilles, Bezons et Colombes.

Mais une seconde cause est venue aggraver les conséquences des crues naturelles de la nappe, et expliquer pourquoi les crues antérieures à 1872 avaient pu passer à peu près inaperçues, par leur courte durée et l'insignifiance des dégâts produits.

2° Le barrage établi à Bezons en 1866 a relevé le niveau de la Seine d'environ 1 mètre en moyenne d'après la déposition de M. l'Ingénieur en chef de Lagrené dans l'enquête de 1876; le même effet s'est nécessairement produit sur les nappes drainées par le fleuve, et telle crue qui n'eût exercé aucun dommage avant la construction du barrage, a dû amener une inondation plus ou moins grave (*).

On peut espérer néanmoins que les conséquences réellement calamiteuses des crues de la nappe pendant les six dernières années ne se renouvelleront plus à l'avenir, grâce au drainage établi par la ville de Paris en 1879, de manière à protéger le village et quelques points particulièrement éprouvés. L'action des drains, toute restreinte qu'elle soit à un faible périmètre, suffira pour maintenir les eaux à un

(*) D'après une note qui nous a été communiquée par M. A. Durand-Claye, le relèvement du plan d'eau dû au barrage de Bezons est de $2^m,03$. Cette cause jointe aux circonstances météorologiques a amené les surélévations suivantes de la nappe en des points très éloignés des irrigations. *Lehotville* $1^m,55$; *la Garenne* (cote 42) $3^m,20$; *Bezons* 1 mètre; *Argenteuil* de $0^m,14$ à $1^m,52$; *Courbevoie* $1^m,90$.

niveau suffisamment bas dans la région où les crues sont dommageables.

Note additionnelle. — Deux faits récents viennent à l'appui de nos conclusions relatives à l'indépendance des oscillations de la nappe et des irrigations en dehors du périmètre où elles sont pratiquées.

1° Les irrigations ont été entièrement suspendues à Gennevilliers du 20 octobre 1878 au 17 mars 1879. Cependant une crue de la nappe s'est produite en janvier et mars, très forte à Colombes, Bezons et Houilles, assez modérée à Gennevilliers; les caves ont été atteintes, les faits ordinaires d'inondation ont eu lieu; puis, à la reprise des irrigations, malgré un été pluvieux, malgré un déversement très abondant, la nappe a pris un mouvement de baisse en tous ses points (sauf à la carrière Varangot où les oscillations ordinaires ont eu lieu, bien qu'avec une intensité moindre que les années précédentes).

2° En février 1880, à la suite d'un hiver exceptionnellement sec, la nappe s'est trouvée si basse qu'un grand nombre de puits ont été mis à sec. Cependant le cube d'eau déversé en 1879 avait été à peu près identique à celui de 1878 (10400000 mètres cubes).

Quant à l'effet des drains, par lequel on a cherché à expliquer ce phénomène anormal, il a été précisément très faible en décembre et nul du 1er au 15 janvier 1880. La totalité du volume débité depuis l'ouverture n'a guère dépassé 850 000 mètres cubes, tandis que dans la même période, la Ville a déversé sur la plaine 3 666 686 mètres cubes.

Paris, 28 avril 1880.

Depuis que les lignes précédentes ont été écrites, l'expérience a continué à se prononcer en faveur de nos conclusions. Tandis que le déversement atteignait en 1881 le chiffre énorme de 17046649 mètres cubes, avec des

maxima mensuels de plus de 2 500 000 mètres cubes pendant l'été, la nappe se maintenait dans les puits à une cote inférieure à $26^m,60$ (atteinte en mars à la suite d'une légère crue de la Seine); les carrières présentaient au contraire les oscillations habituelles, bien qu'affaiblies, avec des maxima bien nets en été.

En ce moment (février 1882), malgré un déversement de près de 4 millions de mètres cubes dans le dernier trimestre de 1881, l'altitude de la nappe, tant dans les puits que dans les carrières, présente un minimum qui n'avait pas été atteint depuis longtemps; et pourtant, pendant la même période, les drains n'ont débité que 500 000 mètres cubes environ.

CHRONIQUE

(Janvier 1883.)

N° 5

LISTE CHRONOLOGIQUE
DU HAUT PERSONNEL DU SERVICE DES MINES

Une note, insérée au bas de la première page des « Listes chronologiques du Haut Personnel des Travaux Publics de 1599 à 1882, » annonçait une liste supplémentaire comprenant le Haut Personnel du Corps des mines. Ce travail synoptique a été préparé par M. Lorieux, Ingénieur en chef, secrétaire du Conseil général des mines, avec le concours de M. Martin de Saint-Semmera, chef de bureau du secrétariat du Conseil.

Jusqu'en 1781, les attributions du Personnel des mines ont été essentiellement fiscales, et se réduisaient, à très peu près, à la perception du droit Régalien. Elles étaient exercées sous les empereurs romains par le « Comes metallorum. »

Le droit Régalien sur les mines inscrit dans le code Justinien, et dont on retrouve la trace dans deux titres, l'un de 635, sous Dagobert, l'autre de 786, sous Charlemagne, est fractionné comme les autres droits de la Couronne sous le régime féodal, et rétabli dans son intégrité par les lettres patentes de Charles VI du 30 mai 1413.

(*) Le premier haut fonctionnaire de l'Administration des mines, sous l'ancienne Monarchie, a été institué par ordonnance de Louis XI, au mois de septembre 1471, avec le titre de général maître gouverneur et visiteur des mines. Il résulte d'un arrêt du parlement de Paris, du 31 août 1474, que la charge était remplie, à cette date, par Guillaume Cousinot, chevalier. Les lettres patentes de François Ier du 17 janvier 1515 continuent l'office de contrôleur des mines en faveur du sieur Pierre Chollet.

(*) Les documents qui suivent sont, pour la majeure partie, extraits de l'ouvrage de M. Lamé-Fleury, intitulé : *De la législation minérale sous l'ancienne monarchie.*

Il existait aussi des Gardes des mines, comme le constatent des lettres du 13 avril 1515, entérinées, le 18, dans les registres de la cour des monnaies (Z. 3. 160, f° 29), par lesquelles François Ier donne à Étienne Burdelot l'office de « Garde des mines d'argent du pays et comté du Nivernais et leurs adjacences, vacant par la mort de feu Jean de Beszé, dernier paisible possesseur dudit office. »

De 1541 à 1601, des privilèges exclusifs pour l'exploitation des mines furent successivement accordés, par lettres patentes des 30 septembre 1548, 29 juillet 1560, 10 mai 1562 et 28 septembre 1568, aux Seigneurs de Roberval de Saint-Julien, de Lescot et de Bellesaigues, qui, malgré leur titre de surintendant, ne furent en réalité que des concessionnaires généraux et temporaires, au grand détriment de la bonne utilisation des richesses minières. Un acte du Parlement, du 26 août 1579, mentionne cependant, comme remplissant les fonctions de général des mines, messire François Garrault, conseiller du roi, le premier auteur d'un écrit sur la minéralogie (1579), intitulé : *Des mines d'argent trouvées en France, ouvrages et police d'icelles.*

En 1595, le poste de surintendant des mines est occupé purement, à ce qu'il semble, à titre honorifique, par le duc de Bellegarde, qui se démet en 1601.

Par un édit de janvier 1597, Henri IV confirme la charge de grand maître général réformateur des mines et nomme à ces fonctions le sieur de Montherbu, en lui adjoignant douze lieutenants particuliers et un contrôleur général.

Le sieur de Beringhem, par commission du 28 septembre 1600, est chargé, sans en recevoir le titre, de faire l'office de grand maître surintendant et général réformateur des mines et minières.

La charge est remplie de 1604 à 1613 par Martin Ruzé ; de 1613 à 1632 par Antoine Ruzé, neveu du précédent, puis par Martin Ruzé, marquis d'Effiat et de Lonjumeau.

Au mois de mai 1635, un édit de Louis XIII porte création de deux offices de contrôleurs généraux alternatifs. Un autre édit d'avril 1636 institue un office de grand maître alternatif. Au mois de mars 1644, un édit de Louis XIV porte suppression de l'office de grand maître alternatif et création de deux grands maîtres surintendants et généraux réformateurs alternatifs triennaux.

En 1722, un monopole exclusif, pour l'exploitation des mines, est de nouveau créé en faveur du duc de Bourbon et dure jusqu'à sa mort, en 1740.

En 1741, un arrêt du Conseil met tous les exploitants en de-

meure de faire vérifier leurs titres et inaugure le régime des permissions et concessions.

L'inspection générale des carrières de Paris, qui forme une annexe du service des mines, remonte au 4 avril 1777. Le premier titulaire fut Charles Axel Guillaumot, inspecteur général en chef des visites et opérations relatives aux carrières de Paris.

L'administration technique des mines date, en réalité, de l'arrêt du Conseil du 21 mars 1781, qui a créé quatre inspecteurs des mines et carrières, parmi lesquels figure Dietrich, maire de Strasbourg.

En 1788, l'administration des mines se composait : d'un intendant, de deux commissaires du roi à la visite des mines et bouches à feu du royaume; de cinq inspecteurs généraux des mines, trois sous-inspecteurs et six ingénieurs, un directeur de l'École royale des mines, deux professeurs et douze élèves.

Le 13 messidor an II (1er juillet 1794), une agence des mines, composée de trois membres, a été instituée par arrêté du comité de Salut public; un arrêté subséquent, du 18 messidor (6 juillet) de la même année, créait, sous l'autorité de l'agence des mines, une administration comprenant huit inspecteurs, douze ingénieurs et quarante élèves ingénieurs.

Par la loi du 30 vendémiaire an IV, l'agence des mines est devenue le Conseil des mines fonctionnant alors près du Ministre de l'Intérieur : la même loi prescrit de recruter les élèves des mines parmi les candidats sortis de l'École polytechnique.

L'organisation actuelle du Corps des mines remonte au décret du 18 novembre 1810; le cadre comprenait trois inspecteurs généraux, cinq inspecteurs divisionnaires, quinze ingénieurs en chef, trente ingénieurs ordinaires, dix aspirants et vingt-cinq élèves.

La Direction générale des mines a été jointe à celle des Ponts et Chaussées par ordonnance du 17 juillet 1815. Cette double direction, séparée du Ministère de l'Intérieur par ordonnance du 19 mai 1830, à constitué le Ministère des Travaux Publics.

Le grade d'inspecteur divisionnaire a été supprimé par ordonnance royale du 27 avril 1832 et remplacé par celui d'inspecteur général de 2e classe.

Le personnel des mines, d'après le décret du 24 décembre 1851, devait comprendre : trois inspecteurs généraux de 1re classe, cinq de 2e classe, treize ingénieurs en chef de 1re classe, quatorze de 2e classe, dix-neuf ingénieurs ordinaires de 1re classe, trente de 2e et douze de 3e. Le même décret instituait soixante-quinze emplois de gardes-mines.

Le décret du 28 mars 1852 a conféré au Ministre le droit de

régler les cadres suivant les besoins du service et en raison des crédits ouverts au budget.

Le décret du 23 avril 1856 a divisé le territoire en cinq divisions minéralogiques, inspectées chacune par un des inspecteurs généraux de 2e classe. Elles ont été constituées par arrêté ministériel du 22 mai suivant. — L'Algérie a été provisoirement annexée à l'inspection du Sud-Est par décision ministérielle du 13 octobre 1881.

Pour apprécier le rôle du Corps des mines, il importe de l'envisager sous son triple aspect *scientifique, industriel* et *administratif.* Mieux que tout autre, par la diversité de ses attributions, il permet aux aptitudes spéciales de reconnaître et de suivre leur voie, avec les avantages que donne une forte éducation encyclopédique.

Actuellement, sur cent vingt-trois membres que comprend le Corps national des mines, en dehors des élèves présents à l'École, vingt-cinq sont spécialement voués aux sciences et à l'enseignement, et trente ont été autorisés à passer au service de l'industrie. Si l'on déduit encore un ingénieur en chef aux chemins de fer de l'État, six ingénieurs exclusivement attachés au contrôle des chemins de fer, trois à la carte géologique détaillée de la France, un au nivellement général, six membres du Conseil général des mines non compris dans la précédente énumération, un ingénieur adjoint au secrétariat du Conseil, un en mission en Tunisie, deux conseillers d'État et un sénateur, il reste seulement, pour assurer en France et en Algérie la surveillance des mines, minières, carrières, tourbières, sources minérales, appareils à vapeur, etc., quarante-six ingénieurs qui participent, en outre, pour la plupart et quelquefois simultanément au contrôle des chemins de fer, aux études de la carte géologique détaillée, et à la réception du matériel destiné à la superstructure des chemins de fer de l'État. Ils sont secondés par cent trente-sept gardes-mines.

Le personnel administratif des ingénieurs est tombé notablement au-dessous de son effectif normal ; il paraît devoir être prochainement renforcé par l'admission, à l'École des mines, d'un plus grand nombre d'élèves sortant de l'École polytechnique. Depuis plusieurs années, il s'est constamment recruté avec les trois premiers.

La liste du haut personnel des Ponts et Chaussées a dû être réduite aux inspecteurs généraux de 1re classe, dont le nombre est déjà relativement élevé. La liste ci-après du haut personnel des Mines a pu, au contraire, comprendre tous les inspecteurs généraux, tant de seconde que de première classe, en raison de leur

petit nombre. Elle est suivie, comme pour les Ponts et Chaussées, de la liste des présidents du conseil, des directeurs et inspecteurs de l'École, puis de celle des Directeurs de la carte géologique de la France, dont la mention spéciale n'a pas besoin d'être justifiée.

Le caractère particulièrement scientifique du Corps des mines donne un intérêt tout spécial à l'adjonction d'une liste chronologique des membres qui appartiennent à l'Institut.

Il est regrettable que le cadre soit encore trop étroit pour que des noms tels que ceux de Jean Reynaud, Lambert, Ébelmen, Sauvage, Audibert, Rivot, Bour, etc., puissent y trouver place.

Juin 1882.

PREMIERS INGÉNIEURS DE HAUT GRADE
ET INSPECTEURS GÉNÉRAUX AU CORPS DES MINES.

ANNÉES.	NOMS DES INSPECTEURS.	ANNÉES.	NOMS DES INSPECTEURS.
	MM.		MM.
1783 à 1788	*Bellejean.*	1856 à 1865	*Lorieux.*
— —	*Jars.*	1857 1872	*De Billy.*
— —	*Monnet.*	1858 1867	*E. Blavier.*
1810 1812	*Lefebvre d'Hellencourt.*	1859 1864	*Fournel,*
— 1824	*Hassenfratz.*	1863 1866	*Drouot.*
— 1831	*Lelièvre.*	1863 1877	*Piérard.*
— 1832	*Gillet de Laumont.*	1864 1868	*Vène.*
— 1832	*Duhamel.*	1865 1871	*De Hennezel.*
— 1832	*Baillet-Belloy.*	1866 1870	*Baudin.*
— 1833	*Héron de Villefosse.*	— 1878	*François.*
— 1861	*Cordier.*	— 1879	*Gruner.*
1816	*Schreiber.*	— 1882	*Du Souich.*
1824 1838	*Brochant de Villiers.*	1867 »	*Daubrée.*
1826 1835	*Beaunier.*	1868 1879	*Couche.*
1832 1851	*De Bonnard.*	1869 1875	*Harlé.*
1834 1848	*Héricart de Thury.*	1869 1877	*Lefébure de Fourcy.*
1834 1851	*Migneron.*	1872	*Le Châtelier.*
1836 1840	*Lefroy.*	1872	*Callon.*
1836 1840	*Voltz.*	1872 »	*G. de Nerville.*
1836 1848	*Berthier.*	1872 »	*Jacquot.*
1840 1846	*Guenyveau.*	1873 1881	*Cacarrié.*
1840 1848	*Garnier.*	1874 »	*Meissonnier.*
1841 1852	*Chéron.*	1875 »	*Descoltes.*
1846 1857	*Dufrénoy.*	1877 »	*Dupont.*
1848 1866	*Thirria.*	1878 1881	*Delesse.*
1848 1868	*Elie de Beaumont.*	1878 »	*Tournaire.*
1848 1871	*Combes.*	1879 »	*Lamé-Fleury.*
1851 1856	*Juncker.*	1879 »	*De Chancourtois.*
1852 1859	*Marrot.*	1879 »	*Gentil.*
1852 1859	*Levallois.*	1881 »	*Bochet.*
1854 1877	*De Boureuille.*	1882 »	*P. d'Ambly.*

VICE-PRÉSIDENTS DU CONSEIL GÉNÉRAL DES MINES (depuis sa création).

ANNÉES.	NOMS DES VICE-PRÉSIDENTS.	ANNÉES.	NOMS DES VICE-PRÉSIDENTS.
	MM.		MM.
1811 à 1832	*Lelièvre.*	1861 à 1868	*Elie de Beaumont.*
20 février au 30 av. 1832	*Duhamel.*	1868 1871	*Combes.*
7 mai au 9 juil. 1832	*Héron de Villefosse.*	1872	*De Billy.*
16 juillet 1832 à 1861	*Cordier.*	1872 1879	*Gruner.*
		1879 1882	*Du Souich.*
		1882 »	*Guillebot de Nerville.*

ÉCOLE DES MINES DE PARIS (*a*).

(Voir la note insérée à la suite des listes chronologiques.)

ANNÉES.	ADMINISTRATEURS ET DIRECTEURS.	ANNÉES.	INSPECTEURS.
	MM.		MM.
1783 à 1786	*Sage* (Directeur).	1785	*Hassenfratz.*
1794	*Gillet de Laumont* (Organisateur).		»
1794 1795	*Picot de la Peyrouse* (Directeur provisoire).		»
1815	*Collet-Descotils* (id.).		»
1816 1836	*Lefroy*, Inspecteur des études (Directeur).		»
1836 1848	*Dufrénoy*, id., id.		»
1848 1857	Id. Directeur.	1848 1856	*Le Play.*
1857 1872	*Combes*, id.	1856 1862	*De Sénarmont.*
	»	1863 1870	*Gruner.*
1872 »	*Daubrée*, Directeur.	1870 »	*Dupont.*

DIRECTEURS DE LA CARTE GÉOLOGIQUE DE LA FRANCE.

ANNÉES.		ANNÉES.	
	MM.		MM.
1837 à 1840	*Brochant de Villiers.*	1857 à 1874	*Elie de Beaumont.*
1840 1857	*Dufrénoy.* *Elie de Beaumont.*	1875 »	*Jacquot.*

MEMBRES DE L'INSTITUT.

ANNÉES.		ANNÉES.	
	MM.		MM.
1795 à 1801	*Dolomieu.*	1840 à 1872	*V. Regnault.*
1795 1816	*Duhamel.*	1843 1870	*Lamé.*
1795 1822	*Haüy,*	1847 1872	*Combes.*
1795 1829	*Vauquelin.*	1851 1879	*Michel Chevalier.*
1795 1835	*Lelièvre.*	1852 1862	*De Sénarmont.*
1799 1834	*Gillet de Laumont.*	1855 1872	*Delaunay.*
1801 1824	*Sage.*	1856 »	*Bertrand.*
1808 1861	*Cordier.*	1858 1864	*Clapeyron.*
1815 1847	*Brongniart* (Alexandre).	1861 »	*Daubrée.*
1816 1840	*Brochant de Villiers.*	1868 »	*Phillips.*
1816 1852	*Héron de Villefosse.*	1873 »	*Résal.*
1824 1854	*Héricart de Thury.*	1878 »	*Cornu.*
1827 1861	*Berthier.*	1879 1881	*Delesse.*
1835 1874	*Elie de Beaumont.*	1881 »	*Jordan.*
1837 1857	*De Bonnard.*	1882 »	*De Freycinet.*
1840 1857	*Dufrénoy.*		

MEMBRES CORRESPONDANTS :

1796 1818	*Picot de la Peyrouse.*	1842 1873	*Burdin.*
1796 1827	*Schreiber.*	1858 1860	*Durocher.*
1821 1841	*D'Aubuisson de Voisins.*	1865 »	*De Vergnette la Motte.*
1840 1851	*Puvis.*	1866 »	*De Marignac.*

NOTE RELATIVE A L'ÉCOLE DES MINES.

(*a*)* Les actes de concessions de mines, au moins à partir de 1769, stipulent tous que le concessionnaire sera tenu de payer annuellement une certaine somme pour l'entretien d'Écoles de mines ou de mineurs. Un arrêt du Conseil, du 13 janvier 1776, commet le caissier de la petite poste de Paris pour recouvrer les contributions de cette nature. Par arrêt du Conseil, du 15 septembre 1776, relatif aux carrières de Paris, l'ingénieur Dupont, inspecteur des carrières, est autorisé à ouvrir une école de géométrie souterraine. Ses pouvoirs furent révoqués par un autre arrêt du 26 septembre 1777.

Il résulte de lettres patentes de Louis XVI, du 11 juin 1778, que le sieur Sage, membre de l'Académie des sciences, fut chargé de professer, à l'hôtel des monnaies de Paris, un cours de minéralogie et de métallurgie docimasique.

L'École des mines de Paris a été instituée réellement par arrêt du Conseil du 19 mars 1783. Sage y professa la chimie, la minéralogie et la docimasie; Duhamel, la physique, l'hydraulique, la géométrie souterraine et l'aérage des mines. Elle fut fermée en 1790, puis réorganisée par arrêtés du comité de Salut

(*) Lamé-Fleury, *Législation minérale sous l'ancienne monarchie.* — *Annales des mines*, 3. série t. IV, partie administrative, p. 586.

public des 24 messidor an II et 18 brumaire an III (12 juillet et 8 novembre 1794), avec quatre cours publics et gratuits : 1° docimasie ; 2° minéralogie et géographie physique ; 3° extraction des mines ; 4° métallurgie. Établie d'abord rue de l'Université, dans la maison Mouchy qui est occupée maintenant par le Dépôt de la guerre, elle a été installée définitivement rue d'Enfer, dans l'hôtel Vendôme, dont l'acquisition a été autorisée par une loi du 12 juillet 1837. Les premiers professeurs ont été, pour la minéralogie, Haüy et Brongniart ; pour l'exploitation des mines, Baillet et Duhamel fils ; pour la docimasie, Vauquelin ; pour la métallurgie, Miché, puis Hassenfratz ; pour la géologie, Dolomieu.

Un arrêté consulaire du 23 pluviôse an X (12 février 1804) remplaça l'École des Mines de Paris par les deux écoles pratiques des mines de Pesey et Geislautern. Elle a été rétablie à Paris par l'ordonnance royale du 5 décembre 1816, qui a admis à suivre les cours, en dehors des élèves ingénieurs destinés au service de l'État, un certain nombre d'élèves externes, et qui a prévu l'institution de plusieurs succursales dans les départements sous le nom d'écoles pratiques de mineurs.

Peu auparavant, par ordonnance du 2 août 1816, l'École des mineurs de Saint-Etienne avait été instituée pour remplacer les écoles pratiques des mines de Pesey et de Geislautern.

Les écoles de maîtres ouvriers mineurs n'ont été instituées que plus tard : celle d'Alais, par ordonnance du 22 septembre 1843 ; celle de Douai, par décret du 27 mars 1878.

L'organisation de l'École des Mines de Paris a été complétée par le décret du 15 septembre 1856. Elle est dirigée par un inspecteur général de 1re classe, avec le titre de directeur, et par un inspecteur général de 2e classe, ou un ingénieur en chef, qui porte le titre d'inspecteur de l'École.

N° 6

LE CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES ET L'INSTITUT

Par M. TARBÉ DE SAINT-HARDOUIN, Inspecteur général, Directeur de l'École.

Les *Annales des Ponts et Chaussées* ont publié dans le numéro de février 1882 un travail intéressant dressé par M. Cheysson sur le haut Personnel des Travaux Publics, et spécialement du Corps des Ponts et Chaussées.

Les *Annales des Mines* ont donné à leur tour des recherches du même genre sur le haut Personnel de ce service et on y a compris la liste des ingénieurs des Mines ayant appartenu à l'Institut depuis sa création.

Il a paru y avoir quelque intérêt pour l'histoire de notre Corps à insérer ici une liste semblable en ce qui concerne les Ingénieurs des Ponts et Chaussées et nous rappellerons tout d'abord que Perronet, premier ingénieur, a fait partie de l'ancienne Académie des Sciences comme associé libre depuis 1765.

Les éléments de ce tableau nous ont été fournis par M. Cheysson, et nous y avons ajouté les détails contenus dans les deux dernières colonnes.

22 décembre 1882.

Liste des Ingénieurs des Ponts et Chaussées de tous grades ayant appartenu à l'Institut de France.

ANNÉES.	NOMS.	GRADES.	CLASSES ET SECTIONS DE L'INSTITUT.
	1° *Membres de l'Institut.*		
1795 à 1839	Riche de Prony	Inspecteur général, directeur de l'École.	Académie des Sciences. Section d Mécanique.
1806 à 1850	Gay-Lussac	Élève ingénieur	Académie des Sciences. Section d Physique générale.
1813 à 1859	Poinsot	Élève ingénieur.	Académie des Sciences. Section d Géométrie.
1816 à 1857	Cauchy	Ingénieur ordinaire.	Académie des Sciences. Section d Mécanique.
1817 à 1875	Mathieu	Élève honoraire.	Académie des Sciences. Secti d'Astronomie.
1817 à 1843	Chabrol de Volvic	Ingénieur ordinaire.	Académie des Beaux-Arts. Memb libre.
1823 à 1827	Fresnel (Augustin)	Ingénieur en chef.	Académie des Sciences. Section d Physique générale.
1824 à 1836	Navier	Ingénieur en chef.	Académie des Sciences. Section d Mécanique.
1836 à 1843	Coriolis	Ingénieur en chef.	Académie des Sciences. Section d Mécanique.
1839 à 1883	Liouville	Élève honoraire.	Académie des Sciences. Secti d'Astronomie.
1843 à 1856	Binet (Philippe)	Élève honoraire.	Académie des Sciences. Section d Géométrie.
1843 à 1880	De Montalivet	Élève honoraire.	Académie des Beaux-Arts. Memb libre.
1862	Vuitry (Adolphe)	Élève honoraire.	Académie des Sciences morales e politiques. Section d'Economi politique.
1862	Bonnet (Ossian)	Élève ingénieur.	Académie des Sciences. Section d Géométrie.
1868	Barré de Saint-Venant	Ingénieur en chef.	Académie des Sciences. Section d Mécanique.
1871	Tresca	Elève ingénieur.	Académie des Sciences. Section d Mécanique.
1871	Mangon	Ingénieur en chef.	Académie des Sciences. Secti d'Économie rurale.
1872 à 1878	Belgrand	Inspecteur général.	Académie des Sciences. Memb libre.
1873	De la Gournerie	Inspecteur général.	Académie des Sciences. Memb libre.
1879	Chrétien-Lalanne	Inspecteur général, directeur de l'École.	Académie des Sciences. Memb libre.
1880	Bresse	Inspecteur général.	Académie des Sciences. Section d Mécanique.
	2° *Correspondants.*		
1814 à 1846	Dubois (Aymé)	Ingénieur ordinaire.	Académie des Inscriptions et Bell Lettres.
1833 à 1861	Vicat	Ingénieur en chef, directeur.	Académie des Sciences. Section d Mécanique.
1844 à 1845	Robiquet	Ingénieur en chef.	Académie des Sciences morales e politiques. Section d'Econo politique.
1861 à 1866	Bernard (Honoré)	Inspecteur général.	Académie des Sciences. Section d Mécanique.
1879	Dausse	Ingénieur en chef.	Académie des Sciences. Section d Mécanique.

(N° 7)

NOTE

SUR

LES DÉCISIONS PRISES

PAR

LA CONFÉRENCE INTERNATIONALE DE BERNE

SUR L'UNITÉ TECHNIQUE DES CHEMINS DE FER

par M. CH. BAUM, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Le 16 octobre 1882 s'est réunie, à Berne, une commission internationale composée de délégués des gouvernements et des administrations de chemins de fer de l'Europe centrale, dans le but d'établir des règles et des dimensions fixes pour le matériel roulant, et de faciliter le transit de ce matériel sur les réseaux des États représentés à la conférence.

L'Allemagne, l'Autriche-Hongrie, la France, l'Italie et la Suisse avaient envoyé des délégués à la conférence.

Le matériel roulant dont les dimensions seront conformes aux règles fixées par la commission internationale pourra, s'il est en bon état d'entretien, passer des rails d'un des États contractants sur les rails d'un autre de ces États.

Nous avons pensé qu'il pouvait y avoir de l'intérêt pour les lecteurs des *Annales* à connaître les décisions prises par la conférence pour arriver à unifier certaines dimensions à adopter dans la construction du matériel roulant. Voici ces décisions :

	Maximum	Minimum
1° Écartement des essieux extrêmes des wagons de marchandises à construire. (Cette dimension ne s'applique pas aux trucs mobiles.)	—	2m,500
2° Écartement des roues d'un essieu mesuré entre les plans intérieurs des bandages	1m,363	1,357
L'écartement toléré pour le matériel existant est de	(1,366)	—

	Maximum	Minimum
3° Largeur des bandages..	$0^m,150$	$0^m,103$
Largeur tolérée pour le matériel existant. . .	—	0,123
4° Jeu des boudins en tenant compte du déplacement total de l'essieu, l'écartement de la voie étant de $1^m,44$..	0,035	0,015
5° Distance entre les bords extérieurs des boudins mesurée à $0^m,010$ en contre-bas des cercles de roulement avec un écartement de $1^m,500$ de ces cercles de roulement.	1,425	1,405
6° Hauteur des boudins lorsque les roues ont leur position normale sur un alignement et un palier, mesurée verticalement à partir du sommet du rail..	0,035	0,025
7° Épaisseur des bandages des roues de wagon mesurée au point le plus faible de la surface de roulement.	—	0,020

8° Les roues de fonte coulées en coquilles peuvent être employées dans le trafic international avec des wagons non munis de freins.

9° Des appareils élastiques de traction et de choc doivent exister aux deux extrémités des châssis de wagon.

Cette prescription ne s'applique pas aux wagons affectés à des transports spéciaux.

	Maximum	Minimum
10° Hauteur des tampons des véhicules vides, mesurée verticalement du sommet du rail au centre du tampon.	$1^m,065$	$1^m,020$
La hauteur maxima tolérée pour le matériel existant est de.	1,070	—
On n'a pas fixé de minimum.		
11° Hauteur des tampons des véhicules en pleine charge.	—	0,940
Hauteur tolérée pour le matériel existant. .	—	(0,900)
12° Écartement des tampons mesuré d'axe en axe d'une paire de tampons.	1,760	1,740
Dimensions tolérées pour le matériel existant.	(1,800)	(1,700)
13° Diamètre des tampons.	—	0,340
Diamètre toléré pour le matériel roulant existant.	—	0,300

14° Espace libre compris entre les disques du tampon et les traverses extrêmes du véhicule ou les pièces y faisant saillie, les tampons ser-

	Maximum	Minimum
rés à fond de course, mesuré parallèlement à la tige de traction.	—	0^m,300
Dimension tolérée pour le matériel existant.	—	(0,250)
15° Saillie des tampons non serrés sur le crochet de traction au repos, mesurée parallèlement à l'axe du véhicule.	0,400	0,300
Dimensions tolérées pour le matériel existant:		
Voitures.	(0,430)	—
Wagons.	(0,430)	(0,223)
16° Longueur des attelages mesurée du front du tampon jusqu'à l'intérieur du maillon d'attelage, l'attelage entièrement étendu (tendeur desserré).	0,550	0,450
Il n'est pas fixé de dimensions pour le matériel existant.		
17° Petit diamètre de la section du maillon d'attelage au point de contact avec le crochet de raction.	0,035	0,030
Dimensions tolérées pour le matériel existant:		
Wagons.	—	(0,025)
Voitures.	—	(0,022)

18° Tous les véhicules doivent être munis à chaque extrémité d'attelages de sûreté pour éviter une coupure du train en cas de rupture de l'attelage principal. Les chaînes de sûreté prescrites presque partout aujourd'hui peuvent être remplacées par un attelage central de sûreté. Les véhicules munis de cet attelage de sûreté devront pouvoir être accrochés aux wagons munis de chaînes de sûreté.

19° Distance minima entre la surface supérieure du rail et la partie la plus basse d'un attelage non tendu qui ne peut pas être relevé ou accroché, avec charge complète du wagon (0^m,075).

20° Toutes les voitures et tous les wagons doivent être munis de ressorts de suspension.

21° Les manivelles des freins doivent être disposées de façon que pour serrer les freins le mouvement ait lieu vers la droite (comme le mouvement des aiguilles d'une montre).

22° Les vigies devront être construites de façon que dans le cas où deux vigies seraient en face l'une de l'autre, toute la paroi extrême de la vigie soit à l'intérieur de la surface des tampons serrés à fond de course.

Distance horizontale minima de la paroi de la vigie au plan

du front des tampons. 0^{m},040

Il n'est pas fixé de limite pour le matériel existant.

23° Chaque véhicule devra porter les indications suivantes :

1) Le nom de l'administration du chemin de fer propriétaire;

2) Un numéro d'ordre ;

3) Sa tare, y compris les roues et les essieux;

4) La capacité de chargement; les voitures à voyageurs ne sont pas soumises à cette prescription.

5) L'écartement des essieux, lorsqu'il est supérieur à 4^{m},50. Cette prescription ne s'applique qu'au matériel à construire.

6) Une indication spéciale lorsque les essieux peuvent se déplacer radialement.

Les dimensions maxima et minima indiquées dans les alinéas qui précèdent s'appliquent aussi bien au matériel existant qu'au matériel à construire ultérieurement, sauf cependant les dimensions mises entre parenthèses, qui ne sont admises que pour le matériel existant au moment où les prescriptions ci-dessus seront mises en vigueur par les États contractants.

La conférence a décidé en outre, à la majorité des voix, que l'écartement de la voie, en alignement droit, devait être fixé pour les lignes ou voies à construire ou à réfectionner, au maximum, à 1^{m},44, et au minimum, à 1^{m},435 entre les bords intérieurs des rails.

A l'unanimité, la conférence a reconnu l'utilité de fixer un profil maximum général (gabarit) pour tous les véhicules.

En attendant que ce gabarit-type puisse être déterminé d'après les renseignements que le Conseil fédéral a été invité à demander aux divers États représentés, la conférence a reconnu qu'un gabarit de chargement qui, à partir de 1^{m},30 au-dessus des rails, a une largeur de 3 mètres, et qui est terminé par un demi-cercle de 1^{m},50 de rayon avec une hauteur de 4^{m},15 au-dessus des rails, peut passer sans obstacle sur tous les chemins de fer des États représentés.

Enfin la conférence a exprimé le vœu qu'on adopte, pour les wagons du trafic international, une fermeture uniforme pour le passage en douane, ainsi qu'une clef uniforme pour la fermeture des portes des voitures du service international.

Les décisions prises par la conférence de Berne de 1882 n'entreront en vigueur que lorsqu'elles auront été approuvées par tous les États représentés à cette conférence.

Paris, en décembre 1882.

N° 8

BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE.

1882

OUVRAGES ANGLAIS.

ALDIS (W. S.). — Introductory Treatise on Rigid Dynamics. Post 8vo, pp. 124. Bell and Sons. 4/
Introduction à la mécanique des corps rigides.

BESANT (W. H.). — Hydromechanics (A. Treatise on), by W. H. Besant, M. A., F. R. S Fourth Edition, revised and enlarged. by Mr. J. Calvert (Mancnester).
Traité d'hydromécanique.

BLOXAM (Charles Loudon). — Metals: their Properties and Treatment. New edit. partially rewritten and augmented by Alfred K. Huntington. Cr. 8vo, pp. 464, cloth. 5s.
Les métaux; leurs propriétés et leur traitement.

BROWN (C.). — The Foundations of Mechanics. Reprinted from the Engineer. 12mo, s. d., pp. 74. Griffin. 1/
Fondements de la mécanique.

BURGH (N. P.). — Link Motion and Expansion Gear practically considered. With an Appendix bringing the Information down to the present time. London, 1881. 4°. Mit 90 Taf. u. 229 Holzschn. 36m.
Mouvement de la coulisse et du mécanisme de détente considéré au point de vue pratique.

BURNESS (W.). — Practical River Reform in Drainage and Navigation, in Water-Power and Irrigation, in Warping Land and

Storing Water. By W. Burness, Agricultural Engineer. 1882. 1s.
Réforme pratique des rivières, en ce qui regarde le drainage, la navigation, etc.

Burnside (W. S.) and A. W. Panton. — The Theory of Equations. With an Introduction of binary algebraic Forms. Dublin, 1883. 8vo, 410 pp. 12 m. 50.
Théorie des équations.

Campin (F.).— A Treatise on Mathematics as Applied to the Constructive Arts. 2nd edit. revised and enlarged by the Author. 12mo. pp. 332 (Weale's Series). 3s.
Mathématiques appliquées aux arts de la construction.

Christy (W. J.). — A Practical Treatise on the Joints Made and Used by Builders in the Construction of Various Kinds of Engineering and Architectural Works. With especial reference to those wrought by Artificers in erecting and furnishing Habitable Structures. With upwards of 160 Engravings on Wood. 12mo, pp. 264 (Weale's Series). 3s.
Traité pratique de la confection des joints employés par les constructeurs dans différentes espèces de travaux.

Clifford (W. K.). — Mathematical Papers. Edited by Rbt. Tucker, with an Introduction by H. J. Stephen Smith. London, 1882, 8vo, 696 pp. 36 m.
Mémoires de mathématiques.

Deacon (George F.). — The Constant Supply and Waste of Water. By George F. Deacon, C. E. 1882. 6d.
La distribution constante et la perte de l'eau.

Douglas Galton (Capt.). — The combination of Steam-heating for Towns and Villages. By Capt. Douglas Galton, C. B. 1881. 6d.
La combinaison du chauffage à la vapeur pour les villes et les villages.

Edwards (E. P. and Williams T.).—The Eddystone Lighthouses (New and Old): An Account of the Building and General Arrangements of the New Tower; with an Abridgment of Smeaton's Narrative of the Building of the Old Tower. 8vo, s. d, pp. 182. Simpkin. 1/6.
Les phares d'Eddystone.

Electric Lighting Bill. Report of Committee and Evidence. 3s. — Witnesses: T. H. Farrer (Boar of Trade). — Town Clerks of

Manchester, Blackburn, Liverpool. — Sir Fred. j. Bramwell. — W. Spottiswoode, — Dr. Siemens — E. Johnson — R. Crompton and others.

Loi sur l'éclairage électrique.

Rapport du comité et dépositions.

Fawkes (F. A.). — Hot Water Heating on the Law Pressure. System. Comprising some of the Principles involved, an Explanation of the Apparatus and its Parts; also its Application to Buildings of Various Descriptions. Post 8vo, Bds., pp. 78. B. T. Batsford. 1/.

Chauffage à l'eau chaude sous basse pression.

Green (A. H.). — Geölogy. Part 1. Physical Geology. 3rd. and enlarged ed. With Illustrations. 8vo, pp. viii. Rivingtons. 21/.

Géologie. 1re partie : Géologie physique.

Harcourt (L. F. V.) — A. Treatise on Rivers and Canals, relating to the Control and Improvement of Rivers, and the Design, Construction and Developpement of Canals. 2 vols. London, 1882, 8°. 24m.

Traité des rivières et des canaux.

Kelland (P. and Talt P. G.). — Introduction to Quaternions. With numerous Examples. 2nd ed. Post 8vo, pp. 260. Macmillan. 7/6.

Introduction aux quaternions.

Lewis W. Leeds. — A Treatise on Ventilation. Showing the great Want of Improved Methods of Ventilation in our Buildings, giving the Chemical and Physiological Process of Respiration, comparing the Effects of the Various Methods of Heating and Lighting upon Ventilation. By Lewis W. Leeds. With three coloured Plates. Third edition, 8vo. cloth, pp. vi. and 226, Price 7s. 6d.

Traité de ventilation.

Metropolitan Sewage. Report by Captain Calver, R. N., F. R. S., on the discharge of Metropolitan Sewage into the River Thames, at Barking Creek and Crossness. 1877. Maps. 2s. 6d.

Les Égouts métropolitains. Rapport par le capitaine Calver.

Michie (P. S.). — Elements of Wave Motion Relating to Sound and Light: A Text-book prepared expressly for the Use of the Cadets of the U. S. Military Academy, West-Point. Illust. 8vo. New-York. 25/.

Eléments du mouvement ondulatoire, dans ses rapports avec le son et la lumière.

NICHOLLS (S.). — Steam Tramways. Steam on Common Roads. By S. Nicholls, C. E. 3d.

Tramways à vapeur. La vapeur sur les routes ordinaires.

POOR (H.V.).— Manual of the Railroads of the United States for 1882. 15th. Year. 8vo, pp. 1 000. New-York. 25/.

Manuel des chemins de fer des États-Unis pour 1882.

RANKINE (W. J. M.). — A Manual of the Steam Engine and other Prime Movers. 10th edit. revised by W. J. Millar. Post 8vo, pp. 626. 12s. 6d.

Traité des machines à vapeur.

REYNOLDS (Michael). — Continuous Railway Brakes : A Practical Treatise on the Several Systems in Use in the United Kingdom, their Construction and Performance, with copious Illustrations and numerous Tables. Post 8vo, pp. 326. Crosby Lockwood. 9/.

Freins continus sur les chemins de fer. — Traité pratique des divers systèmes en usage dans le Royaume-Uni.

ROTH (Henri Ling). — Notes on Continental Irrigation. With Plates. 8vo, pp. 38. Simpkin. 5/.

Notes sur les irrigations du continent.

STALLO (J. B.). — The Concepts and Theories of modern Physics. London, 1882. 8vo. 314 pp. 6m.

Les conceptions et les théories de la physique moderne.

STANLEY (W. F.). — Experimental Researches into the Properties and Motions of Fluids, with theoretical deductions therefrom. London, 1881. 8vo. 562 pp. 18m.

Recherches expérimentales sur les propriétés et le mouvement des fluides.

STOKES (Georges-Gabriel).—Mathematical and Physical Papers. By George Gabriel Stokes, M.A., D. C. L., LL. D., F. R. S. Reprinted from the Original Journals and Transactions, with Additional Notes by the Author. Vol. II.

Mémoires de physique et de mathématiques. Tome II.

STRETTON (C. E.). — A few Remarks on Railway Accidents, their cause and prevention. By C. E. Stretton. 2nd edit. 1882. 1s.

Quelques remarques sur les accidents de chemins de fer, leur cause et les moyens de les prévenir.

SWANK (J. M.). — Statistics of the American and Foreign Iron Trades in 1881, 8vo, s. d., pp. 99. Philadelphie 10/6.

Statistique du commerce du fer en Amérique et à l'étranger.

THOMPSON (Silvanus P.). — Elementary Lessons in Electricity and Magnetism. New ed. 8vo, pp. 464. Macmillan. 4/6.

Leçons élémentaires d'électricité et de magnétisme.

THOMSON (Sir W.). — Mathematical and Physical Papers. By Sir W. Thomson, LL. D. DC. L., F. R. S. Collected from different Scientific Periodicals from May 1841, to the Present time. Vol. II.

Mémoires de physique et de mathématiques. Tomes I et II.

TYNDALL (John). — Six Lectures on Light, delivered in the United States in 1872-73. 3rd ed. 8vo, pp. 272. Longmans. 7/6.

Six leçons sur la lumière.

WATHERSTON (E.J.).— The Water Supply of the Metropolis. Addresses to the Delegates from the Vestries and District Boards of the Metropolis. By E. J. Watherston. 1879. 1s.

Distribution d'eau de la métropole, par E. J. Watherston.

CROOKES, ODLING and TIDY. — Water Supply. Report on the composition and quality of daily samples of the Water supplied to London during October and November 1881. By Crookes, Odling and Tidy. 6d.

Distributions d'eaux. Rapport sur la composition et la qualité des échantillons journaliers de l'eau fournie à Londres en octobre et en novembre 1881, par Crookes Odling et Tidy.

ROWBOTHAM (Geo. A.). — On the Supply of Water to London. By Geo. A. Rowbotham, 1879. 1s.

L'eau fournie à Londres, par Geo. A. Rowbotham.

WATKIN (Sir Edward). —The Channel Tunnel, Bt., M. P. 1882. 1s.

Le tunnel sous-marin.

WHARLON (W. J. L.). — Hydrographical Surveying : a Description of the Means and Methods employed in Constructing Marine Charts. 8vo. pp. 360. 15s.

Levers hydrographiques. Description des systèmes et méthodes employés dans la construction des cartes marines.

OUVRAGES ALLEMANDS.

CURANT (B.). — Ueb. Zahnradbahnen im Allgemeinen. Modificirtes Zahnradbahn-System m. Oberbau u. Fahrbetriebsmitteln zum Zwecke der möglichsten Anschmiegg. an das Terrain u. Reducirg. der Anlagekosten. 4. Wien (Lehmann und Wentzel).
Sur les roues d'engrenage en général.

DIETRICH (E.). — Die Asphalt-Strassen. Beschaffung der Rohmaterialien, Bau der Fahrdämme und Fusswege. Reinigung und Reparatur der Asphalt-Strassen mit allen Hülfsgeräthschaften, etc. Berlin, 1882. Bohne. 8°. IV, 207 pp. 10m.
Les rues pavées en asphalte.

DOUBRAVA (S.). — Ueber Elektricität. Versuch einer neuen Darstellung der elektrischen Grunderscheinungen. I. Thl. Prag, 1882. Slavik und Borovy. 8°. 96 pp. Mit eingedr. Holzschn. 2m. 20.
De l'électricité. Essai d'une exposition nouvelle des phénomènes électriques fondamentaux.

DU BOIS-REYMOND (P.). — Die allgemeine Functionentheorie. 1. Thl. Metaphysik u. Theorie der mathemat. Grundbegriffe : Grösse, Grenze, Argument u. Function. Tübingen, Laupp.
Théorie générale des fonctions.

DURÈGE (H.). — Elemente der Theorie der Functionen e. complexen veränderlichen Grösse. 3. Aufl. Leipzig. Teubner.
Éléments de la théorie des fonctions d'une variable complexe.

FRENZL (C. G.). — Die arithmetische Integration der Dämme und Einschnitte. Ein auf analytischer Grundlage beruhendes Abkürzungsverfahren der Erdberechnung bei beliebig geformtem Terrain, nebst einem Anhang über Bereéhnung der Grund-und Böschungsflächen und der Trägheits. Momente irregulärer Querschnitte. Wien, 1882. Bloch und Hasbach. 8°. 123 pp. Mit 5 autogr. Taf. 4m. 80.
Intégration arithmétique de déblais et remblais.

GLASER-DE CEW (Gst.). — Die magnetelektrischen und dynamoelektrischen Maschinen und die sogenannten Secundär-Batterien. Mit besonderer Rücksicht auf ihre Construction dargestellt. Wien, 1883. Hartleben. 8°. XIV, 263 pp. Mit 54 Holzschn-Abbildgn. 3m.
Les machines magnéto et dynamo-électriques et les batteries dites secondaires.

GÜNTHER (Sgm.). — Parabolische Logarithmen und parabolische Trigonometrie. Eine vergleichende Untersuchung. Leipzig, 1882. Teubner. 8°, IV-99 pp. Mit eingedr. Holzschn. 2m. 80.

Logarithmes paraboliques et trigonométrie parabolique.

HANKEL (W. G.). — Elektrische Untersuchungen. XV. Abhandlung. Ueber die aktino-und piezoelektrischen Eigenschaften des Bergkrystalles und ihre Beziehung zu den thermoelektrischen. Mit 4 lith. u. color. Taf. [Aus : "Abhandlungen der k. sächs. Gesellschaft der Wissenschaften."] Leipzig, 1881. Hirzel. 8°, 92 pp. S. 1879. Nr. 3183. 2m.

Recherches électriques. 15e mémoire.

HINTZ (L.).— Die Baustatik. Ein elementarer Leitfaden, zum Selbstunterricht und zum praktischen Gebrauch für Architekten, Baugewerksmeister und Schüler bautechnischer Lehranstalten bearbeitet. Mit 1 lith. Taf. u. 245 in den Text abgedr. Abbildgn. Weimar, 1882. B. F. Voigt. 8°, XVI-308 pp. 7m.

Statique des constructions

HOHMANN (F.). — Beschreibung, Theorie und Gebrauch des Präcisions-Polarplanimeters [Patent Hohmann und Coradi]. Karlsruhe, 1882. [Erlangen, Deichert.] 8°, 46 pp. Mit 1 Steintaf. 2m.

Description, théorie et usage du planimètre polaire de précision.

HOLZMÜLLER (G.). — Einführung in die Theorie der isogonalen Verwandtschaften u. der conformen Abbildungen, verbunden m. Anwendgn. auf mathemat Physik. Leipzig, Teubner.

Théorie des transformations isogonales et des représentations conformes des surfaces.

JANICKI (S.). — Die verschiedenen Methoden zur Verbesserung der Schiffbarkeit v. Flüssen in Deutschland, Frankreich, Russland, etc. Bearb. v. Klett. 4. Hannover, Kniepsche Buchh.

Les différentes méthodes employées pour améliorer la navigabilité des rivières en Allemagne, en France, en Russie, etc.

LIEBISCH (Th.). — Geometrische Krystallographie. Mit 493 Holzschn. Leipzig, 1881. Engelmann. 8°, XII-464 pp. 12m.

Cristallographie géométrique.

KRONECKER (L.). — Grundzüge e. arithmetischen Theorie der algebraischen Grössen. 4. Berlin, G. Reimer.

Fondements d'une théorie arithmétique des quantités algébriques.

Masega (R.). — Anleitung zum Tracieren v. Eisenbahnlinien f. angehende Ingenieure. Weimar, B. F. Voigt.

Introduction au tracé des lignes de chemins de fer.

Mieting (E.). — Die Bewegung eines Körpers in einer aus zwei homogenen Ellipsoiden gebildeten Schale unter dem Einfluss der Schwere und der Anziehung der Schale. Inaugural-Dissertation. Berlin, 1880. [Göttingen, Vandenhoeck und Ruprecht.] 8°, 65 pp. 2m.

Mouvement d'un corps dans une couche limitée par deux ellipsoïdes homogènes, sous l'influence de la pesanteur et de l'attraction de la couche.

Netto (Eug.). — Substitutionentheorie und ihre Anwedung auf die Algebra. Leipzig, 1882. Teubner. 8°, VIII-290 pp. 6m.80.

La théorie des substitutions et son application à l'algèbre.

Pasch (Mr.). — Vorlesungen über neuere Geometrie. Leipzig, 1882. Teubner. 8°, VI-202 pp. Mit eingedr. Holzschn. 4m.

Leçons de géométrie moderne.

Prym (F.). — Untersuchungen über die Riemann'sche Thetaformel und die Riemann'sche Charakteristikentheorie. Leipzig, 1882. Teubner. 4°, VIII-111 pp. 6m.

Recherches sur les formules *théta* de Riemann et la théorie des caractéristiques de Riemann.

Reiff (Rch.). — Ueber die Principien der neueren Hydrodynamik. Freiburg i. Br., 1882. Mohr. 8°, 43 pp. 1m. 20.

Sur les principes de l'hydrodynamique moderne.

Schaeffer und Budenberg.—Ueber Indicatoren und deren Verwendung bei Prüfung von Dampfmaschinen und Arbeitsmaschinen. Buckau-Magdeburg. 1882. [Berlin, Polytechn. Buchh.] 8°, III-116 pp. Mit 62 eingedr. Fig. 5m.

Sur les indicateurs et leur emploi dans les épreuves des machines à vapeur et des machines-outils.

Schöttler (R.). — Die Gasmaschine. Versuch der Darstellung ihrer Entwickelung und ihres Kreisprocesses. Mit. 14 lith. Doppel-Taf. Braunschweig, 1882. Goeritz und zu Putlitz. 8°, IV-116 pp. 6m. 60.

Les machines à gaz.

Steiner's (J.). — Gesammelte Werke. 2. (Schluss-) Bd. Hrsg. v. K. Weierstrass. Berlin, G. Reimer.

Œuvres complètes publiées par Weierstrass.

WEINMEISTER. — Ueber die Drehung eines homogenen, rechtwinkelig-parallelepipedischen Stabes um eine verticale Axe. London, 1879. Hinrich's Sort. 4°, 31 pp. 1m.50.

Sur la rotation autour d'un axe vertical d'une verge homogène, ayant la forme d'un parallélipipède rectangle.

WIEDEMANN (Gst.). — Die Lehre von der Elektricität. I. Bd. Mit. zahlreichen Holzst. u. 2 lith. Taf. Braunschweig, 1882. Viewey und Sohn. 8°, XI-795 pp. 20m.

Electricité. Tome Ier.

WITTMANN (W.). — Statik der Hochbauconstructionen. 2. Thl. : Holzconstructionen. München, Rieger.

Statique des constructions. 2e partie. Constructions en bois.

ZÖLLNER (F.). — Erklärung der universellen Gravitation aus den statischen Wirkungen der Elektricität und die allgemeine Bedeutung des Weber'schen Gesetzes. Mit Beiträgen von W. Weber, nebst einem vollständigen Abdruk der Original-Abhandlung : Sur les forces qui régissent la constitution intérieure des corps. Aperçu pour servir à la détermination de la cause et des lois de l'action moléculaire, par O. F. Mossotti. Mit dem Bildnisse Newton's in Stahlst. Leipzig, 1882. Staackmann. 8°, XVI-112 pp. 5m.

Explication de la gravitation universelle à l'aide des actions statiques de l'électricité. — Signification générale de la loi de Weber.

ZUGE. — Ueber die Bewegung eines materiellen Punktes auf vorgeschriebenen Curven und cylindrischen Flächen unter Einwirkung einer Attraktionskraft. Lingen, 1882. Van Acken. 4°, 26 pp. 2m.

Du mouvement d'un point matériel sur des courbes données et des surfaces cylindriques, sous l'influence d'une force d'attraction.

OUVRAGES ITALIENS.

BATTAGLINI (G.). — Sulle forme quaternarie bilineari. Roma, 1882. 4°, 25 pp. 2 m 40 d.

Sur les formes quadrilinéaires

BAUMANN (dott. E.). — Meccanica umana. Bologna, F G. Valle edit., presso i frat. Treves lib. in-8, pag. XIII-239, con atlante. — L. 5.
La Mécanique humaine.

BELTRAMI (prof. Eugenio). — Sull' equilibrio delle superficie flessibili ed inestendibili : memoria. Bologna, tip, Gamberini e Parmeggiani. In-4, pag. 51.
Sur l'équilibre des surfaces flexibles et inextensibles.

BELTRAMI (Luca). — Le volte del nostro duomo; MDCCCLXXXI. Milano, tip. Bortolotti e Cª. In-8, pag. 21. — L. 1
Rettifica del num. 3069,
Les Voûtes du Dôme de Milan.

BIANCHI (ing. Giuseppe). — L'impianto e l'esercizio dei tramways nella provincia di Milano ; dati tecnici e statistici, con 10 tavole e 52 incis. Milano, U, Hoepl edit. (tip. Bernardoni di C. Rebeschini e Cª). In-8, pag. 272. — L 12.
La construction et l'exploitation des tramways dans la province de Milan.

BILLIA (Ing. A.). — Costruzioni ferroviarie per conto diretto dello Stato : Ferrovie sicule. — Notizie sulla costruzione della linea di Vallelunga. Palermo, tip. Bizzarrilli. In-4, pag. 52.
Construction de chemins de fer pour le compte direct de l'État. Chemins de fer de la Sicile.

BOLTSHAUSER (prof. G. A.) — Trattato di geometria intuitiva. Torino, E. Loescher edit. (tip. Bona). In-16, pagine 80, con numerose figure intercalate nel testo. — L. 1 50.
Traité de géométrie intuitive.

BOTTO (Antonio). — Telemetri a prisma del sistema Weldon. Roma, tip. C. Voghera, 1881. In-8, pag. 19, con tavola.
Dal *Giorn d'artig. e genito*, p. II. 1881.
Télémètres à prisme du système Weldon.

BOTTO (Antonio). — Di un nuovo sistema d'illuminazione elettrica e di una nuova macchina dinamo-elettrica a correnti continuate. Roma. Voghera Carlo tip. 1881. In-8, pag. 23, con tav.
Sur un nouveau système d'éclairage électrique et une nouvelle machine dynamo-électrique à courants continus.

BRUNO, (G.). — Dissertiazione sul regolamente dei torrenti. Napoli, 1881. 4°, 69 pag. Mit 4 Taf. 4 m. 20 d.
Dissertation sur la régularisation des torrents.

CAVALLI (E.). — Introduzione alla meccanica. Elementi di cinematica ad uso delle scuole di applicazione per gl' ingegnori. Milano, U. Hoepli lib.-edit. (Livorno, tip. Meucci). In-8, pag. XVI-180, con 66 fig. — L. 5.

Introduction à la mécanique. Éléments de cinématique théorique.

CAVAZZI (ing. Alfredo). — Conferenza sperimentale sulle acque dei pozzi di Bologna. Bologna, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-8, pag. 10.

Conférence expérimentale sur les eaux des puits de Bologne.

CHICCHI (P.).—Procedimenti per le prove della solidità delle travate metalliche per il calcolo delle frecce teoriche e di un nuovo istrumento per la misura delle frecce effettive. 1ª. Appendice al Corso teorico-pratico sulla costruzione dei ponti metallici. Padova, 1882. 4°, 49 pag. Mit Taf. 3 m. 50

Procédés pour éprouver la résistance des travées métalliques, pour calculer les efforts théoriques, et instrument nouveau pour mesurer les forces effectives.

CHICCHI (prof. Pio). — Corso teorico-pratico sulla costruzione dei ponti metallici, ad uso degli allievi delle scuole d'applicazione degli ingegneri e costruttori. Padova, Angelo Draghi libr.-edit. (tip. Prosperini), 1881. In-8 gr., pag. 625, con 500 fig. intercalate ed. un atl. di 52 tav. in-fogl. gr. — L. 60.

Cours théorico-pratique sur la construction des ponts métalliques, à l'usage des élèves des écoles d'application d'ingénieurs et de constructeurs.

CIALDI (Alessandro).— Soluzione di due questioni idraulica marittima : nota. Roma, tip. e libr. del Genio civile, 1881. In-8, pag. 10.

Solution de deux questions d'hydraulique maritime.

CIALDI (Alessandro). — Intorno la soluzione di tre problemi all idraulica marittima appartenenti, e a proposito di un'accusa. Roma, tip. delle Scienze matem. e fisiche. 1881. In-4, pag. 58.

Introduction à la solution de trois problèmes appartenant à l'hydraulique maritime.

CORRADINI (ing. F.). — Sull' impiego delle superficie metalliche di riscaldamento armate di coste o nervature. Torino, tip. Camilla e Bertalero. In-8, pag. 10.

Sur l'emploi des surfaces métalliques de réchauffement armées de côtes ou nervures.

CORTESE (ing. E.). — Sulla formazione delle stretto di Messina: nota. Roma, tip. Nazionale. In-8. pag. 37, con carta geologica e tavolai di sezioni.

Dal *Bolettino del R. Comitato Geologico*, anno 1882, N. 1-2.

Sur la formation du détroit de Messine.

CURIONI (Giovanni). — Risultati di esperienze sulle resistenze de materiali. Torino, Ermanno Loescher (stamp. reale di I. Vigliardi). In-8, pag. 12.

Résultats d'expériences sur la résistance des matériaux.

FAIS (Antonio). — La teoria dinamica del calore e le sue conseguenze circa lo stato presente ed avvenire del l'universo : discorso. Cagliari, tip. del Corriere. In-8, pag. 55.

La théorie dynamique de la chaleur et ses conséquences pour l'état présent et l'avenir de l'univers.

FAVARO (Antonio). — L'acustica applicata alla costruzione delle sale per spettacoli e pubbliche adunanze. Torino, tip. e lit. Camilla e Bertolero. Edit. in-8, pag. VIII-176, con 43 fig. nel testo. — L. 5.

L'acoustique appliquée à la construction des théâtres et des monuments publics.

FERRARA (prof. ing. Luigi). — Sulla ferrovia del S. Gottardo : cenni estratti dalla Relazione del viaggio compiuto nel 1881 dagli alunni della Scuola superiore per gl' ingegneri. Napoli, presso F. Furchheim lib.-edit. (tip. del l'Accademia delle Scienze). In-4, pag. 18 e tav. 8. — L. 3 50.

Le chemin de fer du Saint-Gothard.

FERRARA (L.). — Sulla ferrovia del S. Gottardo. Napoli, 1882. 4°, 18 pp. Mit 8 Taf. 4m. 20.

Sur le chemin de fer du Saint-Gothard.

ISSEL (Arturo). — Di uno strumento destinato a misurare l' intensità della gravità. Genova, tip. Benvenuto, Morando e Cie. Edit. in-8, pag. 7.

Sur un instrument destiné à mesurer l'intensité de la pesanteur.

Giletta Luigi. — Lezioni di Geodesia. 2 vol. in-8 con atlante di 20 carte. » 15.

Leçons de géodésie.

De Lucchi (dott. Guglielmo). — Di alcune applicazioni del telefono alle misurazioni elettricche. Venezia, tip. M. Fontana. In-8. pag. 23.

Dall' *Ateneo Veneto* serie V, n. 3-4.

Quelques applications du téléphone aux mesures électriques.

Miglietta (C.). — Sulle vetture a vapore (steam-cars): studii. Mortara, tip. e libr. di Paolo Botto. In-8, pagine 49 e tav. — L. 2.

Etudes sur les voitures à vapeur.

Modigliano (ing. Cesare). — Sull' applicazione della statica grafica allo studio dei progetti di navi: Studii. Pisa, tip. Pieraccini. In-8, pag. 19.

Sur l'application de la statique graphique à l'étude des projets de navires.

Morera. — Soprà una formula di mecanica analitica.

Sur une formule de mécanique analytique.

Norme pratiche per la costruzione dei tramways, tanto esercitati con cavalli che con locomotive; con incisioni intercalate nel testo. Milano, Galli, edit. (tip. Cogliati). In-8 gr., pag. 173. — L. 4 50.

Règles pratiques pour la construction des tramways à traction de chevaux ou de locomotives.

Ponzetti (Angelo). — Il lago di Guarda e le irrigazione dell' agro Cremonese; piano d'abbozzo di un nuovo canale da Borghetto-Valeggio a Casalbuttano : Studio. Milano, tip. Nazionale. In-8, pag. 20.

Le lac de Garde et les irrigations de la plaine de Crémone.

Punturo (Biagio). — Delle strade vicinali : rivista di giurisprudenza. Caltanissetta, tip. Punturo. In-16 grande, pag. 252. — L. 3.

Des chemins vicinaux, revue de jurisprudence.

Razzaboni — Del moto dell' acqua per vasi discontinui.

Du mouvement de l'eau dans des vases discontinus.

Resio (Carlo). — Indicatore telefonico applicato alle macchine motrici. Roma, tip. Farzani e Cie. In-8, pag. 14.

Dalla *Rivista marittima*, iuglio-agosto 1882.

Indicateur téléphonique appliqué aux machines motrices.

Respighi (L.). — Esperienze fatte al R. Osservatorio del Campidoglio, per la determinazione del valore della gravità. Roma, E. Loescher (tip. Salviucci). In-4, p. 26. — L. 4.

Expériences faites à l'observatoire royal de Campidoglio pour déterminer la valeur de la gravité.

Ricci (dott. G.). — Sulla funzione potenziale di conduttori di correnti galvaniche costanti; Ricerche.

Sur la fonction potentielle des courants galvaniques constants.

Ruffini — Dell' ellissoide del Culmann in alcuni casi particolari.

De l'ellipsoide de Culmann dans quelques cas particuliers.

Ruffini (prof. F. P.). — Dell' ellissoide del Culmann : memoria. Bologna, tip. Gamberinie Parmeggiani. In-4, pag. 36.

Dalla Serie IV, tomo III delle Mem. dell' Accad. delle scienze, dell' Ist. di Bologna, 1841.

Mémoire sur l'ellipsoïde de Culmann.

Scotti (Antonio). — Monografia delle acque del fiume Tormo. Milano, tip. L. Bortolotti e C^a. In-8, pag. 30.

Monographie des eaux du fleuve Tormo.

Sebastiono Tessitore. — Sull' effetto della marea montante e dei venti dominante che impedicono il libero defluxo della piena dei fiumi nel mare, come degl' influenti nel fiume principale : Memoria del ing. Cav. Sebastiano Tessitore, professore d'idraulica nella R. scuole d'applicazione per gl' Engegneri di Napoli.

Extrait des *actes de l'Institut royal d'encouragemeut aux sciences naturelles, économiques et chronologiques* (séance du 5 mars 1881).

De l'effet sur la marée montante du vent dominant, qui empêche le libre écoulement des eaux des fleuves à la mer, et de son influence dans les principaux fleuves.

Strada (generale E.). — Progetto, della sistemazione del Tevere, e il bonificamento dell' Agro Romano mediante canali a differenti livelli. Roma, tip. Civelli. In-8, pag. 31, con due disegni. — L. 1 30.

Projet de régularisation du Tibre et amélioration de la Campagne Romaine au moyen de canaux à différents niveaux.

TESSARI. — La teoria del ombre e del chiaro-scuro, ad uso delle Università, delle Scuole d'applicazione per gli Ingegneri, ecc., ecc. — 2 fogli in-8. — L. 15.

La théorie des ombres et du clair-obscur.

VERONESE (prof. G.). — Sulla geometria descrittiva a 4 dimensioni (con tre tavole).

Sur la géométrie descriptive à 4 dimensions.

ZANOTTI BIANCO. — Il problema meccanico della figura della terra. — 1 vol. in-8, — L. 8 C.

Le problème mécanique de la figure de la terre.

ZUCCHETTI (prof. Ferdinando). — Principii di geometria proiettiva e loro applicazione alle linee ed alle superficie di secundo ordine. Torino, tip. Negro. In-8, 2 vol., testo e tavole. — L. 10.

Principes de géométrie projective et application aux lignes et surfaces du deuxième ordre.

N° 9

PRIX DÉCERNÉS

PAR DÉCISION MINISTÉRIELLE DU 24 JANVIER 1883,

conformément à la circulaire du Directeur général des Ponts et Chaussées du 28 janvier 1835,

AUX AUTEURS

des meilleurs mémoires publiés dans les Annales des Ponts et Chaussées

EN 1881.

MÉDAILLE D'OR DE 600 FRANCS

A M. **de Tournadre**, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées pour sa *Notice sur le canal du Verdon.*

MÉDAILLES D'OR DE 300 FRANCS :

1° A M. **Crepin**, Ingénieur ordinaire des Ponts et Chaussées, pour son *Étude sur le dessèchement des pays watringués du nord de la France pour l'écoulememt des eaux nuisibles à la mer*;

2° A M. **G. Liébeaux**, Ingénieur ordinaire des Ponts et Chaussées pour sa *Note sur les fondations à l'air libre et à l'air comprimé; emploi du caisson batardeau divisible et mobile.*

MENTIONS HONORABLES :

1° A M. **de Lagrené**, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées pour sa *Note sur la poussée des terres avec ou sans surcharges;*

2° A M. **Vigan**, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées pour son *Étude sur la Méditerranée.*

N° 10

FONDATIONS A L'AIR COMPRIMÉ

D'UN

PONT SUR LA GARONNE A MARMANDE

Par M. SÉJOURNÉ, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Le chemin de fer de Marmande à Mont-de-Marsan franchit la Garonne, à 1 500 mètres en aval de Marmande, sur un pont en maçonnerie de $682^{m},90$ de longueur comprenant :

5 arches de 36 mètres (grand pont) à la traversée du lit mineur, dont la largeur entre berges est de 195 mètres,

16 arches de décharge de 26 mètres sur la rive gauche viaduc de Canabéra) et 4 semblables sur la rive droite.

Soit en tout 25 arches et 26 fondations comportant un cube de $9\,853^{mc},671$ et une dépense de $763\,098^{f},40$.

Les quatre piles et les deux culées du grand pont ont été foncées sur caissons métalliques avec hausses, — les douze premières piles du viaduc de rive gauche et la culée de celui de rive droite, sur caissons métalliques sans hausses, — les trois dernières piles et la culée du viaduc de rive gauche, les trois piles de celui de rive droite, sur chambres de travail constituées par une voûte en maçonnerie reposant sur un rouet.

L'objet de ce mémoire est de rendre compte des travaux et des prix de revient des six fondations du grand

pont, et des seize fondations du viaduc de Canabéra (rive gauche), exécutées à l'air comprimé, d'août 1880 à novembre 1881, comportant un cube, au-dessous de l'étiage, de 9 129^{mc},24 et une dépense à l'entreprise, de 661 445^{f},36,

CHAPITRE PREMIER.

SOL DE FONDATION. — CHOIX DU SYSTÈME DE FONDATION.

Sol de fondation (voir Pl. 3). — Le terrain avait été reconnu par neuf sondages de 0^{m},21, poussés à une profondeur au-dessous de l'étiage de 16^{m},65 à 31^{m},40, exécutés dans le courant de 1879 par la maison Lippmann (*). De plus, comme, dans le cas de terrains argileux les procédés Degousée renseignent mal sur les propriétés physiques des couches traversées, on a foncé par épuisement jusqu'au tuf, à travers 8 mètres de gravier et sous une charge d'eau de 7 mètres, un puits blindé de 4 mètres sur 2 mètres (**).

(*) On trouvera dans la note A, à la suite de ce mémoire, les principaux renseignements relatifs à l'exécution de ces sondages (clauses du marché, prix de revient, etc).

(**) Le système consistait à faire descendre un caisson avec bordage calfaté, fortement chargé à sa partie supérieure, formé d'une série de caissons de 1 mètre de hauteur, boulonnés l'un sur l'autre au fur et à mesure de la descente : le bordage était formé de voliges à languettes clouées sur 2 cadres boulonnés avec les 4 poteaux corniers. Des saucissons d'osier, qui descendaient avec le caisson, réduisaient le frottement latéral : on a pu ainsi, avec 2 locomobiles de 4 et 10 chevaux, arriver à 0^{m},60 du tuf ; les vitesses considérables qui se produisaient alors sous la semelle du caisson affouillaient le tuf, et empêchaient de l'atteindre. Après plusieurs essais infructueux d'étanchement, on fit descendre des tubes en tôle de 1^{m},40 de diamètre, qu'on appuyait sur le tuf à l'aide d'une vis de pressoir établie à la partie supérieure.

Les dépenses se sont élevées à la somme énorme de 16 147^{f},38, non compris l'argent perdu en essais infructueux d'étanchement.

Fonçage du caisson...	Epuisements.............	4 917^{f},27
	Fonçage (fournitures et main-d'œuvre).............	7 151 76

A une profondeur en contre-bas de l'étiage variant de 4 à 6 mètres s'étend une couche de marne jaune, sableuse, dite : tuf, rayée par places de filons bleuâtres, et contenant des amandes de grès calcaire en formation (*).

Ce terrain appartient à l'étage de la mollasse marine du Fronsadais (éocène moyen), et fait partie du bassin tertiaire sous-pyrénéen, dont les couches, lacustres au nord et à l'est, marines vers l'ouest (**), constituent, avec des caractères physiques peu différents au point de vue spécial des fondations, les fonds des vallées de la Garonne depuis Martres, du Lot après Libos, du Tarn en aval d'Albi et de la Dordogne depuis Mouleydier.

Le tuf est recouvert d'alluvions récentes (galets, graviers, sable) sur une épaisseur variant de $0^m,30$ (pile 4 du grand pont) à $9^m,80$ (pile 1 du viaduc, rive gauche). C'est un terrain incompressible, (portant 85 kilos par $\overline{0^m,01}^2$ sans empreinte sensible) — étanche à l'eau et à l'air comprimé — gélif et se délitant à l'air, — lentement affouillable (***), s'étoilant sous le battage des pieux, qui n'y pénè-

---

Fonçage des tubes en tôle	Epuisements.	$1\,632^f,48$
	Tubes.	869 40
	Main-d'œuvre et fournitures diverses	1 576 47

Il eût été beaucoup plus rapide et moins cher (350 à 400 francs le mètre courant), de foncer à l'air comprimé un caisson circulaire de $1^m,50$ de diamètre, avec cheminée de $0^m,70$ (voir M. Zschokke — Fondations à l'air comprimé, p. 32).

(*) Aux piles 1 et 2 du grand pont, on a rencontré une couche d'argile plastique pure (rouge grenat avec veines bleues), de $0^m,30$ à $0^m,40$ d'épaisseur.

(**) Notice sur l'Exposition de 1878, en ce qui concerne les mines (p. 269-270).

(***) Au pont du Fourc sur la Garonne (ligne de Toulouse à Bayonne), on a constaté en 1876, que le fond du lit s'était abaissé en moyenne de 1 mètre depuis 1866 ; soit de $0^m,10$ par an. Pendant cette même période, il s'était produit au pont d'Apas, sur la Garonne (même ligne), aux piles 2 et 3 des cavités de $0^m,70$ de hauteur, pénétrant jusqu'à 2 mètres sous les massifs de fondation. Au roc de Catala (à 100 mètres en amont du pont de Marmande), la berge est creusée sur une hauteur de 19 mètres (6 au-dessus, 13 au-dessous de l'étiage). A l'emplacement du pont de Marmande, la berge droite a reculé de 185 mètres de 1785 à 1812, et de 55 mètres de 1812 à 1827. (Notice sur les travaux de la Garonne, de M. Baumgarten. *Annales* 1848.)

trent que de 1 mètre à $1^m,50$ en soulevant des dalles de 1 mètre à $1^m,50$ de côté (*).

Régime de la Garonne. — La hauteur moyenne annuelle des eaux de la Garonne depuis 1870 a varié de $1^m,18$ (1879) à $3^m,28$ (1875) : depuis 1855, il y a eu cinq crues de plus de 10 mètres.

Celle du 24 juin 1875 a atteint $11^m,40$.

La largeur du lit d'étiage est de 83 mètres; celle du lit mineur, mesurée entre berges pour les eaux prêtes à déborder, de 195 mètres; celle du lit d'inondation a atteint 4 300 mètres le 24 juin 1875.

La pente moyenne du lit d'Aiguillon à Castets est de $0^m,2625$ par kilomètre, s'élevant à $1^m,56$ dans le rapide à l'amont de l'ouvrage, pour descendre à $0^m,04$ dans la mouille qui le suit.

La profondeur au thalweg est de $4^m,14$ à l'étiage; elle a atteint $15^m,54$ le 24 juin 1875.

En étiage, la vitesse de surface est de 1 mètre, le débit de 120 mètres cubes.

Pendant la crue maxima, on a observé des vitesses de $4^m,50$, et quelques ingénieurs ont supposé que le débit aurait peut-être atteint à Marmande, 16 000 mètres cubes.

Choix du système de fondation. — En adoptant un encastrement de 2 à 3 mètres dans le tuf, on devait compter sur une profondeur de fondation de 9 à 10 mètres au-dessous du niveau moyen des eaux. Sous une pareille charge, et dans une rivière torrentielle, on ne pouvait fonder qu'à l'air comprimé les piles et culées du grand pont : ce système s'imposait aussi aux viaducs, en raison de l'épaisseur de la couche perméable à traverser, de l'importance des épuisements, et de la nécessité de s'encastrer dans la marne, les alluvions de la plaine étant souvent en temps de crue af-

(*) Voir dans les *Annales*, les mémoires de M. Regnauld, sur les ponts de Bordeaux (1867, juillet, p. 34), et de Saint-Pierre de Gaubert (1870, mai, p. 31).

fouillées jusqu'au tuf à plusieurs centaines de mètres du thalweg.

Le système de fondations pneumatiques fut en conséquence proposé et accepté, pour les vingt-six fondations, par la décision ministérielle du 3 avril 1880, qui rejeta un traité de gré à gré passé avec M. Zschokke (entrepreneur de fondations à l'air comprimé à Valence), estimant que « le chiffre élevé de la dépense ne permettait pas de déro- « ger aux dispositions prescrites par l'article 69 du règle- « ment général du 31 mai 1862, » et prescrivit de faire procéder à une adjudication restreinte entre des entrepreneurs spéciaux désignés dans une liste (*) approuvée par l'Administration (**).

Le montant du détail estimatif était de 1 059 247 fr. 87 savoir :

Terrassements.	27 694^{f},22
Fondations à l'air comprimé { grand pont 4 302^{mc},96 à 90^{f}.	387 266 40
Fondations à l'air comprimé { viaducs . . . 6 371^{mc},16 à 89^{f}.	567 033 24
Maçonnerie à l'air libre sur 3 mètres en contre-haut de l'étiage.	77 254 01
En tout.	1 059 247 87

L'adjudication eut lieu le 5 juin 1880 ; les résultats en sont résumés ci-après :

(*) Cette liste contenait les huit noms ci-après :
Eiffel et Cie (rue Fouquet, 52, Paris) ; Société de construction des Batignolles (E. Gouin, avenue de Clichy, 176 et 178, Paris) ; Hersent (rue de Naples, 4, Paris) ; Joret (rue Taitbout, 80, Paris) ; Montagnier (rue d'Abbeville, 6, Paris) ; Zschokke (Valence, Drôme) ; Société Fives-Lille, à Fives près Lille ; Varigard et Mortier (Alleins, Bouches-du-Rhône).

(**) Cette disposition a depuis été étendue aux adjudications restreintes prévues par l'article 71 du décret du 31 mai 1862, par la circulaire du 1er juin 1880, laquelle dispose, pour les cas analogues, que la liste des concurrents sera arrêtée par M. le Ministre, sur la proposition des Ingénieurs et d'une commission locale instituée à cet effet.

DÉSIGNATION des soumissionnaires.	RABAIS.	OFFRES PAR MÈTRE CUBE de fondation.	
		Grand pont.	Viaducs de décharge.
	p. 100.	fr. c.	fr. c.
MM. Joret.	0	90 00	89 00
Hersent.	2	88 20	87 22
Eiffel.	5	85 50	84 55
Zschokke.	11	80 10	79 29
Fives-Lille.	16	75 60	74 76
Montagnier.	18	73 80	72 98
Varigard et Mortier.	19	72 90	72 09

CHAPITRE II.

CONSTITUTION DES MASSIFS DE FONDATION.

§ Ier. — 1er *type. — Caissons en tôle du système ordinaire.* — Description du caisson d'une pile du grand pont. — Dimensions et poids des caissons. — Suppression des hausses pour les fondations des viaducs. — Maçonneries à l'air libre. — Remplissage de la chambre de travail.

§ II. — 2e *type de chambre de travail.* — Chambre de travail constituée par une voûte en maçonnerie sur rouet en tôle. — Description sommaire des fondations du pont de Hohnsdorf, sur l'Elbe. — Rouet d'une culée. — Rouet d'une pile.

La chambre de travail a été construite sur deux types différents.

Pour les piles et culées du grand pont et les 12 premières piles du viaduc de Canabéra, on a conservé le système ordinaire des caissons en tôle.

La culée Casteljaloux, et les piles 13, 14 et 15 du viaduc de Canabéra ont été fondées sur voûte en maçonnerie, dont les retombées s'appuient sur un rouet en tôle.

§ I. — *Caissons en tôle.*

Les 18 caissons métalliques employés au grand pont et au viaduc de rive gauche étant construits sur le même type, nous nous bornerons à décrire celui d'une pile du grand pont.

Description du caisson d'une pile du grand pont. (Pl. 3, *fig.* 7 à 15). Les parois verticales, sur une hauteur de $2^m,70$, sont formées de tôles de $0^m,006$, rivées sur des couvre-joints montants, de $0^m,10$ de largeur ; elles portent sur un couteau en tôle d'acier de $0^m,22$ de hauteur et $0^m,018$ d'épaisseur.

Le plafond, en tôle de $0^m,006$, est soutenu par un poutrage comprenant huit poutres transversales espacées de $1^m,15$, et quatre entretoises sur les avant-becs dans le sens du rayon. La hauteur commune est de $0^m,60$ et l'épaisseur de $0^m,008$, portée à $0^m,009$ pour celles auxquelles sont rivées les amorces des cheminées.

Ces deux amorces, qui ont un diamètre intérieur de $1^m,05$, une hauteur de $1^m,00$, une épaisseur de $0^m,010$, sont rivées en outre à deux entretoises transversales : leur partie inférieure, qui pénètre de 0^m08 au-dessous du plafond, lui est rivée par une cornière de $\frac{70 \times 70}{8}$.

Les parois verticales du caisson sont raidies par 26 contre-fiches, rivées, par leur partie verticale aux couvre-joints des tôles des parois, par leur partie horizontale aux poutres du plafond.

Elles se composent :

D'une âme verticale de $0^m,005$ (*), embrassée par une double cornière de $\frac{80 \times 60}{7}$, qui s'élève verticalement le long des parois sur une hauteur de $1^m,90$, se recourbe à

(*) Les contre-fiches sont d'ordinaire à âme pleine; nous l'avons fait évider, pour assurer la liaison entre les maçonneries de la crinoline.

angle droit en laissant passer la cornière du plafond de $\frac{80 \times 80}{8}$ et se rive au plafond sur une longueur de 1 mètre,

D'une double cornière de $\frac{80 \times 60}{7}$, inclinée à 2,16/1 sur l'horizon, assemblée à sa partie inférieure à l'âme verticale et soutenue à mi-hauteur par un gousset vertical embrassé par deux cornières horizontales de $\frac{50 \times 65}{7}$.

Une contre-fiche pèse 100 kilogrammes.

Trois cornières horizontales maintiennent, avec les contre-fiches, la rigidité des parois verticales:

Une de $\frac{80 \times 80}{8}$ sous le plafond;

Une de $\frac{50 \times 65}{7}$ à mi-hauteur, coupée à chaque contre-fiche, et rivée aux goussets horizontaux.

Une inférieure de $\frac{100 \times 100}{10}$, assemble au couteau les abouts des contre-fiches.

Dimensions des caissons. — Les dimensions relatives aux différents types de caissons en tôle sont résumées dans le tableau ci-après :

Dimensions des caissons constituant les chambres de travail, comptées depuis le tranchant du couteau, jusqu'au bas du premier rang de hausses (soit à $0^{m},04$ au-dessus de l'aile supérieure des poutres du plafond).

	GRAND PONT.		VIADUCS.	
	PILES.	CULÉES.	PILES.	CULÉES.
Dimensions d'ensemble des caissons.				
Surface.	$74^{mq},027$	$90^{mq},038$	$45^{mq},171$	$67^{mq},31$
Périmètre.	$32^{m},005$	38^{m} 33	$25^{m},096$	$33^{m},85$
Hauteur sous plafond. .	$2^{m},054$	$2^{m},054$	$2^{m},054$	$2^{m},054$
Hauteur jusqu'au 1er rang de hausses. .	$2^{m},70$	$2^{m},70$	$2^{m},51$	$2^{m},51$
Poutrage.				
Portée maxima.	$7^{m},10$	$7^{m},00$	$5^{m},50$	$6^{m},00$
Hauteur de l'âme.	$0^{m},60$	$0^{m},60$	$0^{m},45$	$0^{m},50$
Rapport de la hauteur d'âme à la portée. . . .	1/11,8	1/11,6	1/12,2	1/12
Espacement.	$1^{m},10$ à $1^{m},15$	$1^{m},10$ à $1^{m},15$	$1^{m},10$ à $1^{m},15$	$1^{m},10$ à $1^{m},15$
Contre-fiches.				
Poids de l'une.	$100^{k},00$	$100^{k},00$	$100^{k},00$	$100^{k},00$
Nombre.	26	30	22	26
Espacement moyen. . . .	$1^{m},231$	$1^{m},278$	$1^{m},141$	$1^{m},30$
Épaisseurs des tôles.				
Du plafond.	$0^{m},006$	$0^{m},006$	$0^{m},006$	$0^{m},006$
De la paroi verticale. . .	$0^{m},006$	$0^{m},006$	$0^{m},006$	$0^{m},006$
Du couteau.	$0^{m},018$	$0^{m},018$	$0^{m},018$	$0^{m},018$
Des poutres du plafond. .	$0^{m},008$	$0^{m},008$	$0^{m},007$	$0^{m},007$
Des poutres contre-les cheminées.	$0^{m},009$	$0^{m},009$	$0^{m},008$	$0^{m},008$
Des amorces des cheminées.	$0^{m},010$	$0^{m},010$	$0^{m},010$	$0^{m},010$
Amorces des cheminées.				
Nombre.	2	2	2	2
Diamètre intérieur.	$1^{m},05$	$1^{m},05$	$1^{m},05$	$1^{m},05$
Hauteur.	$1^{m},00$	$1^{m},00$	$1^{m},00$	$1^{m},00$

Poids des caissons. — Le tableau ci-après donne le détail des poids des quatre types de caissons sur une hauteur de $2^{m},70$ pour les fondations du grand pont, de $2^{m},51$ pour celles des viaducs.

DÉSIGNATION DES PIÈCES.	GRAND PONT.		VIADUCS DE DÉCHARGE.	
	PILES.	CULÉES.	PILES.	CULÉES.
A. — *Pièces indépendantes des dimensions du massif.*	kil. gr.	kil. gr.	kil. gr.	kil. gr.
Amorces des deux cheminées	514,332	514,332	514,332	514,332
Cornières des amorces.	105,60	105,60	105,60	105,60
Rivets et couvre-joints (environ 5 p. 100).	30,068	30,068	30,068	30,068
Total pour le titre A. .	650,000	650,000	650,000	650,000
B. — *Pièces ne dépendant que de la surface du massif (plafond et poutrage).*				
Plafond horizontal.	3 383,500	4 148,82	2 033,000	3 069,144
Poutres du plafond et entretoises contre les cheminées.	2 636,899	2 912,083	1 176,412	1 684,644
Cornières des poutres et entretoises.	2 617,440	2 804,400	1 333,470	1 960,000
Rivets et couvre-joints (environ 5 p. 100)..	412,161	484,697	207,118	336,212
Total pour le titre B. .	9 050,000	10 350,000	4 750,000	7 050,000
C. — *Pièces ne dépendant que du périmètre du massif.*				
Paroi verticale (couvre-joints compris).	4 044,152	4 843,379	2 947,977	4 055,501
Contre-fiches (rivets compris).	2 600,000	3 000,000	2 200,000	2 600,000
Couteau..	898,700	1 076,306	704,696	950,508
Cornières..	992,030	1 169,330	721,253	974,770
Rivets et couvre-joints (environ 4 p. 100)..	465,118	410,985	326,074	419,221
Total pour le titre C. .	8 900,000	10 500,000	6 900,000	9 100,000
Poids total de la chambre de travail.	18 600,00	21 500,00	12 300,00	16 700,00
Poids moyen par mètre carré de fondation..	249,93	238,99	276,73	248,11

En désignant par S la surface du massif, par P son périmètre, le poids total π du caisson s'exprimerait par les formules suivantes :

Pour les piles du grand pont :

$$\pi_1 = 650 + \frac{9050}{74,027} S + \frac{8900}{32,005} P = 650 + 122,25\, S + 278,08$$

Pour les culées du grand pont :

$$\pi_2 = 650 + \frac{10350}{90,38} S + \frac{10500}{38,33} P = 650 + 114,51\, S + 273,93\, P.$$

Pour les piles de viaduc :

$$\pi_3 = 650 + \frac{4750}{45,171} S + \frac{6900}{25,096} P = 650 + 105,15\, S + 274,94\, P.$$

Pour les culées de viaduc :

$$\pi_4 = 650 + \frac{7050}{67,31} S + \frac{9000}{33,85} P = 650 + 104,74\, S + 265,8\, P.$$

Si on fait entrer la constante dans le coefficient de S, les quatre formules deviennent :

$$\pi_1 = 278\, P + 130\, S$$
$$\pi_2 = 274\, P + 123\, S$$
$$\pi_3 = 271\, P + 126\, S$$
$$\pi_4 = 266\, P + 116\, S.$$

Hausses des massifs du grand pont. Suppression des hausses pour les fondations des viaducs. — Pour les piles et culées du grand pont, les caissons sont prolongés par des hausses formant batardeau.

Chaque rang est formé de tôles de $1^m,095$ de hauteur et $0^m,003$ d'épaisseur rivées à recouvrement, et renforcé au milieu de la hauteur par une cornière ceinture de $\frac{65 \times 45}{6}$, sur laquelle sont boulonnées des cornières de contreventement de $\frac{60 \times 80}{8}$, qu'on enlève au fur et à mesure de l'exécution de la maçonnerie ; la cornière ceinture est maintenue, en outre, par des fers plats de $\frac{40}{6}$ rivés à demeure.

Le poids de chaque rang d'un mètre de hauteur (*) est de 1 080 kilogrammes (**), soit par mètre carré $33^k,75$.

DES MAÇONNERIES — *Maçonnerie à l'air libre dans la chambre de travail.* — Avant la descente, on remplit de maçonnerie le vide triangulaire — dit crinoline — compris entre les parois verticales de la chambre de travail, et les cornières inclinées des contre-fiches. On commence par établir en l'appuyant sur la cornière inférieure de $\frac{100 \times 100}{10}$, sur une hauteur moyenne de $0^m,70$, une maçonnerie de briques à ciment de Portland, posées à plat, en saillie l'une sur l'autre, jusqu'à ce que l'assise supérieure présente une profondeur de $0^m,30$ environ, nécessaire à l'assiette de la maçonnerie ordinaire à chaux du Teil, qu'on élève jusque sous le plafond, en ayant soin de placer des boutisses longitudinales pour relier entre elles, à travers les vides des consoles, les maçonneries de la crinoline, et de laisser des moellons en saillie pour en assurer la liaison avec le béton de remplissage.

Béton entre les poutres. — Après avoir vérifié et complété l'étanchéité du plafond, on a effectué le remplissage entre les poutres en béton de chaux du Teil damé avec soin. Le béton remplit mieux les vides et entretoise aussi bien les poutres que de la maçonnerie ordinaire.

Maçonnerie au-dessus des poutres.—Les massifs sont exécutés en maçonnerie ordinaire à chaux du Teil. Pour le

(*) Les rangs successifs des hausses ont été rivés à recouvrement alternatif de $0^m,04$. Eu égard à la faible épaisseur des tôles ($0^m,003$), il ne paraît pas avoir d'avantage appréciable à exiger le recouvrement constant de bas en haut, comme le prescrivent certains devis.

(**) Savoir :

Tôle de $0^m,003$	$819^k,000$
Cornière de ceinture de $\frac{65 \times 45}{6}$ à 5^k le mètre courant	160 025
3 fers plats de 40/6 à $2^k,500$ le mètre courant.	52 25
Rivets et couvre-joints (env. 5 p. 100)	47 725
Total par 1 mètre de hauteur	1 $079^k,000$

grand pont, ils sont couronnés au niveau de l'étiage par une assise de libages de $0^m,40$. Il suffit, en effet, de préserver l'arête du couronnement, et tout le massif, sauf l'assise supérieure, peut sans danger s'exécuter en maçonnerie ordinaire, qui a tout le temps de former monolithe avant que les tôles des hausses n'aient disparu par oxydation. Pour les massifs des viaducs foncés sans hausses on attendait quinze jours au moins entre l'exécution des maçonneries et le fonçage.

Remplissage de la chambre de travail. — Nous décrirons plus loin avec détails (chapitre V) les différents modes de remplissage appliqués au pont de Marmande.

§ II. — *Deuxième système de fondation. — Chambre de travail constituée par une voûte en maçonnerie sur rouet en tôle.*

Ce système a été appliqué pour la première fois en Allemagne, en 1876, aux fondations d'un grand pont sur l'Elbe, entre Hohnsdorf et Lauenbourg (chemin de fer de l'État du Hanovre).

Avant de décrire les fondations exécutées à Marmande d'après ce système, nous indiquerons sommairement les principales dispositions adoptées au pont de Hohnsdorf (*).

Description sommaire des fondations du pont de Hohnsdorf sur l'Elbe, (Pl. 5 *fig.* 2 à 8). — Le pont de Hohnsdorf comprend :

(*) Les renseignements qui vont suivre sont extraits, soit de documents fournis par M. le Directeur des chemins de fer hanovriens, qui a bien voulu nous adresser tous les dessins de détail relatifs aux fondations de cet ouvrage, soit d'une notice publiée sur ce sujet par l'un des entrepreneurs, M. Gaertner, « Entwickelung der pneumatischen Fundirungs-Methode, und Beschreibung der Fundirung der Elbe-Brücke, bei Lauenburg. » Publié à Vienne, librairie Lehmann et Wentzel.

3 travées de 100 mètres sur le lit mineur;

1 pont tournant à deux travées de 14 mètres;

3 travées de décharge de 40 mètres.

Il comportait, pour ce débouché linéaire de 448 mètres, neuf fondations : deux culées, la pile du pont tournant, quatre piles en rivière et deux piles pour viaducs de décharge.

Le lit de l'Elbe, à Hohnsdorf, est formé sur une grande profondeur de sable et gravier, mélangés de tourbe et d'argile.

Suivant le système familier aux ingénieurs allemands et qui avait été appliqué aux deux ponts de Stettin, sur l'Oder et le Parnitz (1866-67), et à celui de Dusseldorf sur le Rhin (1868), chaque fondation devait reposer sur des puits circulaires, réunis par une voûte à leur partie supérieure.

Le projet primitif du pont de Hohnsdorf comportait :

Pour les quatre piles en rivière, deux puits de 8 mètres de diamètre;

Pour les deux piles des travées de décharge, deux puits de $5^m,50$ de diamètre;

Pour la culée Lauenbourg, deux puits de 6 mètres de diamètre;

Pour la pile du pont tournant, un puits de 9 mètres de diamètre;

Pour la culée Hohnsdorf, on avait prévu quatre puits : deux de $6^m,50$ à l'amont; deux de 4 mètres à l'aval.

Aux ponts de Dusseldorf et de Stettin, la chambre de travail d'un puits avait la forme d'un tronc de cône d'une hauteur de $4^m,364$, ayant à sa partie supérieure le diamètre de la cheminée, à la base, celui du puits ($8^m,15$ à Dusseldorf). (Voir Pl. 5 *fig.* 1.)

La chambre est formée d'armatures *sur lesquelles les maçonneries reposent directement et sans interposition d'une enveloppe de tôle.*

Une corniche triangulaire de $1^m,49$ de hauteur renforçait

la base de la chambre et présentait à sa partie supérieure un plateau supportant les premières assises du revêtement en briques.

Ce système est imité de celui du pont d'Argenteuil sur la Seine (1862); mais il en diffère par ces deux points essentiels :

1° *Suppression de la colonne de fonte qui enveloppait la maçonnerie.* (Sauf sur une hauteur de $1^m,49$, tout le massif de fondation était parementé en briques *frottant directement sur le terrain naturel.*)

2° *Suppression de l'enveloppe intérieure de tôle.* (Ce qui a montré qu'une maçonnerie soignée *n'est pas traversée par l'air comprimé.*)

On voulut aller plus loin au pont de Hohnsdorf et réduire encore le poids de l'armature métallique.

Chacun des puits devait être constitué comme suit :

A la base un sabot en tôle formant couteau, de $0^m,40$ de hauteur et $0^m,026$ d'épaisseur, assemblé par une cornière de $\frac{79 \times 79}{10}$ et des contre-fiches à âme pleine distantes de $0^m,59$, à une tôle plate de $0^m,29$ de largeur et $0^m,010$ d'épaisseur. (Pl. 5, *fig.* 4.)

Sur ce rouet sont boulonnées trois couronnes de madriers de hêtre de $0^m,08$ d'épaisseur, rigoureusement calfatées.

La couronne supérieure reçoit les retombées de la chambre de travail, formées de briques hollandaises de $0^m,11$ d'épaisseur, *posées à plat*, en boutisses en saillie l'une sur l'autre vers l'intérieur pour former voûte.

L'intrados de la voûte est une ligne brisée composée de droites inclinées,

sur $1^m,05$ à $\frac{1}{2}$

sur $1^m,05$ à $\frac{1}{1,5}$

sur $1^m,70$ à $\frac{1}{1}$.

La hauteur totale de la voûte est :

du dessus des madriers au sommet.	$3^m,80$
du tranchant au sommet.	$4^m,41$

Son diamètre intérieur est :

à la base.	$6^m,86$
au sommet	$1^m,00$

Des fers ronds de $0^m,02$ (un tous les $1^m,30$ environ), terminés par des ancres, relient le rouet aux maçonneries.

Le poids total des fers pour un puits de 8 mètres ayant une section de $56^{mq},26$ et un périmètre de $25^m,1328$ a été de :

sabot en tôle..	3 329	kilogrammes
19 ancres dans les maçonneries . . .	273	—
plaque en tôle de $0^m,010$ supportant la cheminée et amorce de cheminée.	560	—
En tout.	4 162	kilogrammes

Le poids n'est fonction que du périmètre et non de la surface. P étant le périmètre, il s'exprimera par la formule :

$$\pi = 560^k + \frac{3329 + 273}{25,1328} = 560 + 143\ P.$$

Rapporté à la surface seule, le poids est de 83 kilogrammes par mètre carré.

La culée Hohnsdorf, la pile du pont tournant, et deux piles en rivière (à $14^m,19$) furent ainsi fondées sur puits isolés. (Pl. 5, *fig.* 2). Mais la difficulté d'exécuter les voûtes pour réunir les massifs de fondation fit chercher à les réduire à un massif unique. On n'osa pas adopter un premier projet, où le massif de fondation avait en plan la forme d'une ellipse ayant comme axes $15^m,6$ et $6^m,96$, et

on s'arrêta au suivant pour les fondations des deux autres piles en rivière. (Pl. 5, *fig.* 3.)

La section plane du massif est formée par deux ellipses qui se pénètrent, en enveloppant la base de la fondation ; à leur intersection, est établi un mur transversal de $6^m,52$ d'épaisseur dans lequel est ménagée une communication ; ce mur repose sur un sabot plus léger que le rouet du pourtour; et descendant moins bas (pour éviter que le poids de la fondation venant à y porter, le massif tende à se disjoindre). (Pl. 5, *fig.* 3, 5, et 6.)

Les dimensions du massif ainsi constitué étaient les suivantes :

Ellipses	grand axe	$10^m,10$
	petit axe	6 948
Longueur totale du massif		16 10
Largeur au milieu		5 76
Surface		$94^{mq},31$
Périmètre		$39^m,60$

Cette forme trahit la préoccupation des Ingénieurs allemands d'éviter les surfaces planes, par crainte sans doute, soit de la poussée des terres, soit de la pression de l'air comprimé, peut-être aussi pour éviter la construction de cintres, leurs voûtes pouvant être établies sur de simples gabarits.

Le métré des fers, fait sur les dessins que nous avons entre les mains, donne :

Rouet à $132^k,47$ le mètre courant	$5\,245^k,80$
Tirants et ancres	436 00
Plaque d'attache et amorce des deux cheminées	1 120 00
Sabot du mur transversal à $109^k,20$ le mètre courant	622 40
En tout	$7\,424^k,20$

En appelant P le périmètre extérieur, le poids π de l'armature métallique est donné par la formule :

$$\pi = 1120 + 622,40 + \frac{5245,8 + 436}{39,60} P = 1742 + 143 P,$$

soit 78 kilogrammes par mètre carré.

Les deux piles en rivière furent ainsi fondées, *sans aucun accident*,

La pile n° 4 à 13^{m},19 sous les eaux moyennes, et un encastrement dans le sol de 10^{m},49;

La pile n° 5 à 13^{m},24 sous les eaux moyennes, et un encastrement dans le sol de 11^{m},25.

La première en vingt jours, la deuxième en vingt-deux jours.

Les conclusions de *fait* tirées des ponts cités plus haut, de Stettin sur l'Oder et de Dusseldorf sur le Rhin, ont donc rencontré à Hohnsdorf, une nouvelle et plus complète confirmation. Il demeure définitivement établi, par l'expérience d'ouvrages considérables, que :

1° Une voûte en maçonnerie de briques, soigneusement rejointoyée, n'ayant aux retombées qu'une épaisseur de 0^{m},57 est très suffisamment étanche à l'air comprimé sous une pression de 14 mètres;

2° Des massifs d'une surface de 94^{mq},31, avec chambre de travail complètement en maçonnerie, armés seulement à leur partie inférieure d'un rouet léger de 130 kilos au mètre courant, *sans hausses* et n'étant reliés au rouet que par des tirants verticaux, ont pu traverser, sans aucun accident, une couche de 11 mètres de sable et graviers;

3° On a pu réduire, avec ce système, de 280 à 80 kilos le poids par mètre carré de fer à enfouir dans les massifs de fondation;

4° On a pu sans accident, et avec les précautions d'usage, faire jouer la mine dans les chambres de travail en maçonnerie (on a fait partir, dans l'un des petits puits de la culée Hohnsdorf, 68 coups de mine).

Chambres en maçonnerie du pont de Marmande (Pl. 6). — La culée Casteljaloux et les piles 13, 14 et 15 du viaduc

de Canabéra, ont été fondées comme à Hohnsdorf sur des chambres de travail en maçonnerie.

Fondation de la culée Casteljaloux du viaduc de Canabéra (Pl. 6, *fig.* 1 à 6). — La culée est sur plan rectangle dont les dimensions sont les suivantes :

Longueur.	$11^{m},35$
Largeur.	6 00
Surface.	$67^{mq}31$
Périmètre.	$33^{m},85$

Malgré les craintes manifestées par les Ingénieurs allemands sur le danger des parties droites dans les massifs, *nous avons maintenu pour le rouet la forme rectangulaire de la culée*, mais en lui donnant des dimensions plus fortes qu'à Hohnsdorf, et en soutenant les grands côtés par deux entretoises parallèles aux petits.

Deux tôles verticales d'une épaisseur de $0^{m},024$ pour le grand côté, de $0^{m},020$ pour le petit, sur une hauteur de $0^{m},52$ forment le tranchant : elles sont assemblées par une cornière de $\frac{70 \times 70}{10}$ à une tôle horizontale, formant plateau de $0^{m},40$ de largeur et $0^{m},015$ d'épaisseur, dont le bord intérieur est raidi par une cornière de $\frac{100 \times 100}{12}$.

Ce plateau est soutenu tous les $0^{m},80$ environ par des consoles formées par une âme pleine de $0^{m},012$, réunie au plateau et au couteau par deux cornières de $\frac{80 \times 80}{14}$. A $1^{m},556$ de part et d'autre de leur milieu, les grands côtés sont reliés par deux entretoises formées par une âme de $0^{m},012$, renforcée à la partie supérieure par deux cornières de $\frac{100 \times 100}{15}$, et à la partie inférieure par quatre cornières de $\frac{90 \times 90}{15}$ formant croix. La partie inférieure est tenue au-

dessus du tranchant du rouet, pour éviter qu'elle ne vienne à porter sur le sol. (Pl. 6, *fig.* 4.)

Sur le plateau, et solidement réunies à lui par deux files de boulons de $0^m,02$, sont établies trois couronnes de madriers de chêne de $0^m,06$ et $0^m,08$ d'épaisseur, les deux premières posées en long sur une largeur de $0^m,38$, la troisième par bout, sur une longueur de $0^m,54$. Entre la couronne inférieure et le rouet est placée une forte couche d'étoupe : le tout est goudronné et calfaté avec le plus grand soin. (Pl. 6, *fig.* 5.)

La voûte (suivant un plan normal aux grands côtés) est intradossée en ogive de 3 mètres de montée (de la clef au-dessus des madriers); son épaisseur est de $0^m,57$ aux retombées et $0^m,30$ à la clef. L'ogive est définie par un arc de cercle de $8^m,95$ de rayon, satisfaisant à ces deux conditions, et, aux retombées, faisant avec l'horizon un angle dont la tangente est égale à deux.

Sur une hauteur de $1^m,50$, la chambre de travail est en briques à ciment de Portland, *posées horizontalement*. Sur le reste, avec une épaisseur variant de $0^m,30$ pour la clef à $0^m,80$ au joint de rupture, elle est construite en moellons ordinaires à Portland *appareillés en voûte*.

Toute la maçonnerie, jusqu'à l'horizontale de l'extrados à la clef, est à ciment de Portland.

Quatorze fers ronds de $0^m,04$ et huit de $0^m 025$, plus rapprochés vers le milieu des grands côtés, et terminés par des clavettes, tantôt au plan supérieur des briques, tantôt au niveau de l'extrados de la clef, relient les maçonneries au rouet; ils sont fixés vers le bord intérieur du plateau, pour s'opposer à son déversement. Ils intéressent les maçonneries de tout le massif aux poussées du terrain ou de l'air comprimé, et arrêtent tout glissement qui tendrait à se produire sur la couronne supérieure des madriers. La voûte forme ainsi arc de cloître, avec une arête supérieure horizontale de $5^m,35$ de longueur. L'amorce de cheminée,

d'une hauteur de $1^m,50$, repose par cinq contre-fiches noyées dans la maçonnerie sur un plateau de $0^m,008$ d'épaisseur.

Le poids des fers de la chambre de travail est de 10 421 kilogrammes, savoir :

A. — *Pièces indépendantes de la surface et du périmètre.*

Amorce de cheminée (y compris plateau et consoles) sur une hauteur de $1^m,50$ (rivets compris).	$825^k,00$
Deux entretoises horizontales reliant les grands côtés du rouet (rivets compris).	1 896 00
Total pour le titre A. . . .	$2\ 721^k,00$

B. — *Pièces ne dépendant que du périmètre.*

Couteau (épaisseur)	$0^m,024$ pour les grands côtés). . . . . $0^m,020$ pour les petits côtés).	$3\ 136^k,30$
Plateau du rouet (épaisseur $0^m,015$)..		1 532 70
Cornières.		899 80
Quarante-deux contre-fiches à $30^k,5$ (rivets compris).		1 281 00
Tirants, clavettes, écrous. . . . . Boulons, rivets. . . . . Couvre-joints.		850 20
Total pour le titre B. . . .		$7\ 700^k,00$
Total pour la fondation. . .		$10\ 421^k,00$

P étant le périmètre, le poids π du rouet s'exprimerait donc par la formule :

$$\pi = 2721 + \frac{7700}{33,85} P = 2721^k + 227 P.$$

Rapporté à la surface seule, le poids est de 154 kilogrammes par mètre carré.

Pour un puits de 8 mètres d'une pile en rivière du pont de Hohnsdorf, nous avons établi la formule :

$$\pi = 560^{k} + 143\,P,$$

qui, pour une surface de $56^{mq},26$, donnait 83 kilogrammes par mètre carré. L'augmentation des poids à la culée du pont de Marmande provient de ce que :

1° L'amorce de cheminée est de $1^{m},50$ au lieu de $0^{m},60$.

2° La forme rectangulaire en plan du massif de fondation a imposé deux entretoises horizontales pesant ensemble 1 896 kilogrammes, et un rouet plus lourd, pesant au mètre courant 212 kilogrammes au lieu de 132.

3° En ne tenant pas compte de la constante, les poids ne dépendent que du périmètre P, et par mètre carré que du rapport $\frac{P}{S}$, lequel est minimum pour les surfaces circulaires.

Pour un caisson métallique du système ordinaire, nous avons établi plus haut la formule :

$$\pi = 650 + 104,74\,S + 265,8\,P,$$

qui donne par mètre carré $248^{k},11$ au lieu de 154 kilogrammes, et en tout 16 700 kilogrammes au lieu de 10 421.

L'économie de fer, en faveur du rouet, est donc de

$$\frac{16\,700 - 10\,421}{16\,700} = 38 \text{ p. } 100.$$

On remarquera que cette réduction de plus de $\frac{1}{3}$ est obtenue pour une forme qui se prête moins bien que les formes circulaires à l'application économique du système ; on verra plus loin qu'elle atteint 64 p. 100 pour les puits elliptiques de fondation des piles.

Fondations des piles 13, 14 *et* 15 *du viaduc de Canabéra (rive gauche)* (Pl. 6 *fig.* 7 à 11). — On vient de voir que les faces planes qu'on avait dû accepter pour la culée, sous peine d'en exagérer le cube dans une proportion inadmissible, avaient conduit à entretoiser le cadre du rouet et à en augmenter sensiblement la résistance. Mais pour les piles on a pu, au prix d'un accroissement insignifiant de la surface ($0^{mq},819$ sur $45^{mq},171$), modifier le plan de la fondation pour ne présenter vers l'extérieur que des courbes convexes. Au lieu d'un rectangle de $\frac{5^m,50}{4^m,60}$, terminé par des avant-becs elliptiques de $\frac{5^m,50}{2^m,30}$ ayant une surface de $45^{mq},171$ et un périmètre de $25^m,096$, le rouet est défini par une double anse de panier à trois centres dont les dimensions sont les suivantes :

Grand axe	. . . .	$9^m,20$
Petit axe	. . . .	6 35
Surface	. . . .	$45^{mq},99$
Périmètre	. . . .	$24^m,69$
Rayon	maximum.	6 175
	minimum.	2 53

Le rapport du périmètre à la surface est réduit de 0,556 à 0,537.

Le rouet se compose d'une tôle verticale de $0^m,015$, de $0^m,40$ de hauteur, dont la partie inférieure, formant tranchant, est renforcée, sur une hauteur de $0^m,15$, par une tôle de $0^m,010$: le plateau est formé d'une tôle horizontale de $\frac{0^m,010}{0^m,30}$ assemblée à la paroi verticale par une cornière de $\frac{80 \times 80}{10}$, dont le bord intérieur est raidi par une cornière de $\frac{70 \times 70}{10}$. Ce plateau est soutenu tous les $0^m,808$ par des

consoles composées d'une âme triangulaire pleine de $0^m,010$ assemblée au plateau et au couteau par deux cornières de $\frac{70 \times 70}{10}$. (Pl. 6. *fig.* 10 et 11.)

Sur le plateau, et solidement réunies avec lui par deux files de boulons de $0^m,020$, sont établies trois couronnes de madriers de chêne de $0^m,09$ d'épaisseur, posées par bout avec des largeurs croissantes de $0^m,37$, $0^m,43$, $0^m,50$. Entre la couronne inférieure et le rouet est placée une épaisse couche d'étoupe ; le tout est goudronné et calfaté avec le plus grand soin.

L'intrados de la voûte est engendré par une demi-ogive glissant sur la couronne supérieure, définie, comme la génératrice de l'intrados de la culée, par un arc de cercle de $8^m,95$ de rayon, faisant aux naissances un angle avec l'horizon dont la tangente est $\frac{2}{1}$.

La voûte se compose ainsi de quatre surfaces de révolution, dont les axes verticaux passent par les quatre centres de l'anse de panier périmètre du rouet. La coupe sur le petit axe est une ogive ; la coupe sur le grand se compose, au delà des centres des petits rayons, de deux arcs de cercle réunis entre les deux centres par une courbe elliptique formant arc de cloître.

L'épaisseur de la voûte est aux retombées de $0^m,52$, à la clef de $0^m,30$; la hauteur maxima sous clef est de $3^m,60$.

La chambre est exécutée sur une hauteur de $1^m,80$ en briques à Portland posées horizontalement ; au-dessus, en moellons ordinaires dressés en coupe. Tout le massif, jusqu'à l'horizontale de l'extrados à la clef est à ciment de Portland.

Seize fers ronds de $0^m,025$ fixés à leur partie inférieure vers le bord intérieur du plateau du rouet (pour en combattre le déversement), et arrêtés par des clavettes au niveau supérieur des briques, intéressent les maçonneries

aux mouvements du rouet; huit de ces tirants sont prolongés jusqu'au niveau de la clef et ancrés dans la maçonnerie ordinaire.

L'amorce de cheminée de $1^m,50$ est rivée à sa partie inférieure à un plateau de $0^m,008$ d'épaisseur et $2^m,50$ de diamètre, auquel elle est reliée en outre par cinq contre-fiches noyées dans la maçonnerie; ce plateau est à 1 mètre au-dessus de l'extrados de la voûte.

Le poids des fers de la chambre de travail est de 4 265 kilogrammes, savoir :

A. — *Pièces ne dépendant ni de la surface ni du périmètre.*

Amorce de cheminée, plateau et consoles (*pour une hauteur d'amorce de* $1^m,50$)	$575^k,00$

B. — *Pièces ne dépendant que du périmètre.*

Paroi verticale ($0^m,015$)		$1\,156^k$ 00
Couteau ($0^m,010$)		299, 00
Plateau du rouet ($0^m,010$)		556, 10
Cornières	extérieure $\frac{(80\times80)}{10}$	289, 00
	intérieure $\frac{(70\times70)}{10}$	239, 3
32 consoles pesant $16^k,05$ l'une		513, 6
Rivets et couvre-joints		246, 00
24 tirants avec clavettes, écrous et ancres .		400, 00
Total pour le titre B. .		$3\,690^k,00$
Total pour la fondation. .		$4\,265^k,00$

P étant le périmètre, le poids π du rouet s'exprimerait donc par la formule :

$$\pi = 575 + \frac{3690}{24,69}P = 575 + 150\,P.$$

Rapporté à la surface seule, le poids par mètre carré est de $\frac{4265}{45,99} = 92^k,73$.

Pour un caisson métallique du système ordinaire, le poids total serait 12 500 kilogrammes au lieu de 4 265 kilogrammes, et le poids par mètre carré 277 kilogrammes au lieu de $92^k,73$: l'économie réalisée sur les fers est donc de 64 p. 100.

Nous avons résumé dans le tableau ci-après les éléments permettant, au point de vue des poids des fers de la chambre de travail, la comparaison entre le rouet et le système ordinaire.

	CULÉE (sur plan rectangle de $11^m,35/6^m$).			PILE (sur plan elliptique de $9^m,20/6^m,35$).		
	Caisson métallique du type ordinaire.	Rouet.	Différences.	Caisson métallique du type ordinaire.	Rouet.	Différences.
Formule donnant le poids total. .	650 + 105 S + 266 P	2721 + 227 P	105 S + 39 P − 2071	650 + 122 S + 271 P	575 + 150 P	75 + 122 S + 121 P
Poids total. . .	16 700^k	10 421	6 279^k	12 500^k	4 265^k	8 235^k
Poids par mètre carré. .	248^k	154	94^k	277^k	93^k	184^k
Économie p. 100 du rouet sur le caisson métallique.	»	»	38	»	»	64

On voit que la forme elliptique réduit de près de moitié le poids du fer par rapport à la fondation rectangulaire : le poids du mètre courant de périmètre est descendu de 227 à 150 et la constante de 2 721 à 575 kilogrammes. C'est l'inverse pour le caisson du type ordinaire : comme nous l'avons déjà fait remarquer pour les piles du grand pont et comme nous le montrerons plus loin par de nombreux exemples. le poids par mètre carré est au contraire plus fort pour les fondations en partie circulaires des piles que pour les fondations rectangulaires des culées.

CHAPITRE III.

MATÉRIEL SPÉCIAL A L'EMPLOI DE L'AIR COMPRIMÉ ET INSTALLATIONS.

I. — *Matériel spécial à l'emploi de l'air comprimé.*

1° *Production de l'air comprimé.*

Machines soufflantes et compresseurs. — L'entreprise a employé 4 machines soufflantes de 25-18-18 et 12 chevaux, horizontales avec cylindre compresseur à piston hydraulique à double effet établi dans le prolongement du cylindre moteur avec tige de piston commune (*).

Ce modèle, employé à Kehl en 1859, ne l'est plus guère aujourd'hui, malgré la régularité de sa marche, en raison de son poids, du travail absorbé par le déplacement de l'eau du compresseur (**), de la nécessité de limiter la vitesse à cause des mouvements de cette eau, et d'avoir la même marche pour le moteur et le compresseur, les deux pistons étant montés sur la même tige (***) : on lui préfère les compresseurs à injection d'eau pulvérisée du système Colladon, avec moteur indépendant, qui marchent normalement à soixante tours au lieu de trente-cinq, sont plus légers de moitié, et permettent pour un même compresseur de faire varier la force du moteur.

(*) Pour une description détaillée, voir l'ouvrage de MM. Vuigner et Fleur-Saint-Denis, Pont de Kehl. Planche XIV, et celui de M. Pernolet. Air comprimé, p. 161 à 176.

(**) Le cube d'eau mis en mouvement dans la bâche de refroidissement à chaque coup de piston était de $0^{mc},41$ pour les machines 1, 2 et 3, de $0^{mc},18$ pour celle de 12 chevaux.

(***) On l'emploie encore dans les sucreries en renversant le sens des clapets, pour faire le vide dans l'appareil dit « à triple effet, » servant à la concentration par évaporation dans le vide des liqueurs sucrées.

Les dimensions des quatre compresseurs de Marmande sont données ci-après :

	Nos 1 et 2.	No 3.	No 4.	OBSERVATIONS.
D. — Diamètre du piston.	$0^{m},46$	$0^{m},46$	$0^{m},29$	A pleine admission, en supposant une perte de charge de $0^{k},25$ entre la chaudière et le corps de pompe, une contre-pression de $1^{k},20$ et une détente au tiers, on avait pour le travail utile en chevaux produit par les machines, par application de la formule connue : $T_m = 0,70 \times \frac{2N}{60 \times 75} \times \frac{1}{4}\pi(D^2 - d^2)(P - 0^k25) \times \frac{2}{3}C\left\{1 + \text{loghyp}\frac{C}{\frac{2}{3}C} - \frac{1,20C}{\frac{2}{3}C(P - 0,25)}\right\}$ Pour les machines : 1 et 2 de 14 à 23 chevaux, 3 de 22 à 37 — 4 de 7 à 18 — En fait, le travail utilisable n'a jamais atteint 12 chevaux.
C. — Course du piston. .	$0^{m},60$	$0^{m},60$	$0^{m},38$	
d. — Diamètre de la tige.	$0^{m},07$	$0^{m},07$	$0^{m},05$	
S. — Surface utile du piston en $0,01^2$.	$1622^{cq},6$	$1622^{cq},6$	$640^{cq},8$	
Volume théorique d'une cylindrée.	$0^{mc},0973$	$0^{mc},0973$	$0^{mc},0244$	
Nombre de tours par minute. — n_1 vitesse inférieure.	30	30	30	
n_2 marche ordinaire. . . .	40	40	50	
n_3 limite atteinte (*a*). . .	50	50	80	
Volume théorique aspiré par heure correspondant à — la vitesse minima n_1. . . .	$350^{mc},28$	$350^{mc},28$	$87^{mc},87$	
la vitesse ordinaire n_2. . .	$467^{mc},04$	$467^{mc},04$	$146^{mc},70$	
la vitesse maxima n_3. .	$583^{mc},80$	$583^{mc},80$	$312^{mc},32$	
s. — Surface des clapets d'aspiration.	800^{cq}	800^{cq}	»	
Rapport entre cette surface et celle du piston du compresseur.	1/2	1/2	»	
Cube de l'eau mise en mouvement par le piston du compresseur. . .	$0^{mc},41$	$0^{mc},41$	$0^{mc},18$	
Surface en plan de l'abri de la machine (moteur et compresseur).	63^{mq}	(*b*)	38^{mq}	

(*a*) A cette limite, l'eau était projetée en dehors du tuyau d'aspiration, et il y avait refoulement de l'air par les clapets d'aspiration.

(*b*) Cette machine était montée sur bateau.

2° ***Distribution de l'air comprimé. Tuyaux de conduite.*** — Leurs dimensions sont les suivantes :

	DIAMÈTRE intérieur (1).	ÉPAISSEUR.	POIDS du mètre courant.	PRIX DU MÈTRE courant mis en place (garniture du joint comprise).
Tuyaux en fonte.	m.	m.	kil.	fr.
Premier type.	0,08	0,006	11	6
Second type.	0,10	0,006	17	8
Tubulures en caoutchouc.				
Premier type.	0,08	0,01	»	20
Second type.	0,10	0,01	»	24

(1) La perte de pression due au frottement Δp étant de la forme $\Delta p = K \frac{u^2 l}{d}$ (u étant la vitesse de l'air, l la longueur de la conduite, d son diamètre, — M. Pernolet, *Air comprimé*, p. 47), il y aurait théoriquement avantage à prendre de grands diamètres. Mais pratiquement, les pertes de pression sont faibles (ainsi, au mont Cenis, Δp était de 0m,233 de hauteur de mercure pour une conduite de 1000 mètres, d'un diamètre de 0m,10, et une vitesse initiale de 6 mètres par seconde) et on préfère employer des tuyaux de petit diamètre, qui sont d'un prix moindre et d'un maniement plus facile. On compte dans la pratique une perte de pression de 2 à 3 p. 100, et on se contente de tuyaux de 0m,08 pour des distributions de 1500 à 2000 mètres.

3° *Emploi de l'air comprimé.*

A. — *Sas.* — Ils comportent :

Une chambre centrale, boulonnée sur la cheminée, en communication permanente avec la chambre de travail.

Deux chambres d'équilibre, communiquant avec la chambre centrale et l'extérieur par deux portes de 0m,70 sur 0m,60, s'ouvrant vers la pression la plus forte, dans lesquelles l'équilibre des pressions s'établit par deux robinets de 0m,025.

L'air comprimé débouche sous le sas dans le premier anneau de cheminée par une tubulure en caoutchouc munie

d'un clapet que referme la pression intérieure en cas de rupture ou de déplacement de la conduite ; une soupape de sûreté prévient toute élévation brusque de pression, comme il s'en produit dans les terrains étanches.

Les déblais sont élevés par un treuil de $0^{m},22$ de diamètre, et $0^{m},24$ de rayon de manivelle, mû par deux tubistes. Les deux seaux, lesquels cubent $0^{mc},013$ (pour les seaux en tôle-gravier), $0^{mc},017$ à $0^{mc},024$ (pour les seaux en bois-argile), l'un montant plein pendant que l'autre descend, sont versés alternativement dans chaque écluse, qui peut recevoir un cube de $0^{mc},55$ à $0^{mc},60$.

Chaque sas comporte :

Dans l'air comprimé	Deux manœuvres au treuil. Un à la vidange du seau dans l'écluse.

A l'air libre : Un manœuvre pour la vidange des écluses.

Leurs dimensions principales sont les suivantes :

Chambre centrale	Hauteur.	$2^{m},05$
	Surface de la coupe horizontale. .	$2^{mq},10$
	Volume (y compris une amorce de cheminée de $0^{m},60$).	$4^{mc},82$
Chambre d'équilibre	Diamètre.	$1^{m},15$
	Surface de la coupe horizontale. .	$1^{mq},04$
	Hauteur.	$2^{m},10$
	Volume.	$2^{mc},05$
Epaisseur des tôles	Parois.	$0^{m},007$
	Plafond et plancher.	$0^{m},010$

Poids total d'un sas à deux écluses . . . . $4\,800^{k}$ (*)

Prix approximatif. . . $4\,800^{k} \times 0^{f},70 = 3\,360^{f}$ (**)

(*) On en fabrique en tôle d'acier à un seul corps avec évacuation des déblais par de petits sas communiquant avec l'extérieur par une porte fermée par une vis d'un poids de 2 000 à 2 200 kilogrammes.

(**) Malgré leur poids énorme et la lenteur de l'évacuation du déblai (12 à 14 mètres cubes par sas et par 24 heures), MM. Varigard et Mortier en préconisent l'emploi en raison de la simplicité de la manœuvre, de la sécurité et de la continuité du travail.

Pour les trois dernières fondations du viaduc de Canabéra, on s'est servi d'un sas à chambre unique, du modèle employé pour les premières fondations tubulaires, pesant 2 000 kilogrammes. On verra plus loin combien la discontinuité du travail a augmenté les dépenses de fonçage.

B. — *Cheminées.* — Elles sont dressées par viroles de 1 mètre et 2 mètres, boulonnées l'une sur l'autre. Leurs dimensions sont les suivantes :

Diamètre intérieur.	$1^{m},05$ (*)
Epaisseur.	$0^{m},008$ (**)
Poids du mètre courant (y compris les crampons de l'échelle).	$275^{k},00$
Prix approximatif du mètre courant $275 \times 0,7$.	$192^{f},50$

Dépenses de matériel à compter dans les frais de fonçage. — Le tableau ci-après donne l'énumération du matériel employé, les prix d'achat et les sommes à compter pour amortissement et moins value, avec leur répartition sur le cube total (10 000 mètres cubes).

(*) On peut descendre jusqu'à $0^{m},65$.

(**) On sait que e désignant l'épaisseur d'une chaudière de longueur indéfinie, d son diamètre, p la pression effective à l'intérieur (pression absolue diminuée de la pression atmosphérique), T la plus grande traction longitudinale correspondant à p, on a la relation :

$$e = \frac{pd}{2T} \text{ (M. Bresse : résistance des matériaux, p. 325).}$$

Posant $\begin{cases} p = 10,333\ n\ (n \text{ étant le nombre d'atmosphères répondant à } p), \\ T = 2,850,000 \text{ kilogrammes, soit } 2^{k},85 \text{ par } \overline{0,001}^2, \\ d = 1^{m},05, \end{cases}$

On a : $e = 0,00189\ n$. Pour $e = 0,008$, on a : $n = 4^{at},23$, c'est-à-dire qu'avec des cheminées de $1^{m},05$ de diamètre, et $0^{m},008$ d'épaisseur, on pourrait descendre à une profondeur maxima de $4^{at},23 \times 10^{m},33 = 43^{m},7$, sans dépasser une tension maxima de $2^{k},85$ par $\overline{0,001}^2$.

MATÉRIEL SPÉCIAL à l'air comprimé.	FRAIS d'achat.	SOMME à compter pour intérêts, amortissement, réparation et dépréciation totale.	par m. c.	OBSERVATIONS.
	fr.	fr.	fr. c.	
2 machines fixes de 20 chevaux.	42 000	7 800		On admet, pour une entreprise donnée, que la somme à compter pour intérêts, amortissement, réparation et dépréciation du matériel est les $\frac{25}{100}$ de la valeur actuelle du matériel : soit, s'il a déjà servi une fois, les $\frac{25}{100} \times \frac{75}{100} = \frac{3}{16}$ du prix d'achat. Ce serait ici 23 681 francs, au lieu des 29 180 francs que nous avons comptés.
1 machine de 8 à 10 chevaux. .	9 000	1 700		
1 — sur bateau, de 25 chevaux.	22 000	4 000		
4 sas à double écluse pesant 4 800 kilos l'un (à 0f,70). . . .	13 440	2 000		
1 sas à une porte pesant 2 000 kilos (à 0f,70).	2 310	250		
36 cheminées de 2 mètres pesant 550 kilos l'une (à 0f,65).	12 870	2 500		
200 mètres de tuyaux de conduite en fonte de 0m,10 à 8f. .	1 600	400		
22 tuyaux de 0m,08.	132	30		
45 mètres de tuyaux en caoutchouc à 30 francs.	1 350	400		
	104 702	19 080	1,91	
Matériel accessoire.				
2 pompes Letestu et accessoires, 2 pompes Japy et accessoires, treuils, broyeurs, wagonnets, bâches, chèvres, seaux, crics, dragues, bacs, outillage de forge, etc., etc.	18 000	10 000	1,00	
6 vérins pour descente du caisson de la pile 3.	3 600	100	0,01	
TOTAL.	126 302	29 180	2,92	

§ II. — *Installations.*

A. — *Installations s'appliquant à l'ensemble des fondations, et dont les dépenses sont à répartir sur le cube total, estimé en nombre rond à* 10 000 *mètres cubes.*

	Dépenses de premier établissement.	Intérêt à 6 p. 100 pendant deux ans.	Moins-value à la fin des travaux.	Frais à compter	
				totaux.	par mètre cube.
	fr.	fr. c.	fr.	fr. c.	fr. c.
Bureaux et logements pour le personnel de l'entreprise (84 mètres carrés à 25 fr.).	2 100	252,00	1 800	2052,00	0,205
Un abri pour la forge et le matériel (41 mètres carrés à 6f,25). .	256	30,72	200	230,72	0,023
Location de bâtiments et de terrains et indemnités à des propriétaires (pour deux ans).	»	»	»	2200,00	0,22
TOTAUX. . . .				4482,72	0,45

B. — *Installations en rivière* (ne s'appliquant qu'aux quatre piles du grand pont). (Pl. 4 *fig.* 1 à 8.)

Un pont de service a été établi, de la rive droite, jusqu'à 7 mètres au delà de la pile 4 pour le bardage, à l'aide d'une grue roulante, des écluses et des cheminées, complété par des installations spéciales pour les piles 3 et 4.

Il comprend vingt-trois palées de trois pieux ronds de $0^m,30$, d'une fiche moyenne de $2^m,50$, entretoisés par deux moises horizontales et des écharpes en croix de Saint-André : les deux files extérieures supportent une longrine de $0^m,30$ sur $0^m,30$, raidie entre les palées par des sous-poutres soutenues par des contre-fiches inclinées, sur laquelle court une voie à patin de $15^k,50$ arasée à $4^m,50$ au-dessus de l'étiage : la largeur de la voie est de 13 mètres.

Le pont de service a une longueur totale de $147^m,50$: il a comporté, y compris les installations spéciales aux piles 3 et 4, un cube de $42^{mc},31$ de bois pour pieux, de $115^{mc},06$ de bois équarri et une dépense de premier établissement de $14\,882^f,40$: soit $100^f,90$ par mètre.

Mise en place des caissons. — Ceux des piles 1 et 2 ont été montés sur le gravier sans installation spéciale : on a seulement remblayé de $0^m,50$ la plate-forme de la pile 2.

Pile 3. (Pl. 4, *fig*. 3, 4, 5 et 6.) — Sur les moises transversales des deux palées voisines étaient établies six poutres de 28ᶜ/28ᶜ soutenant le plancher de montage, formé de madriers jointifs : le couteau était élevé sur des tasseaux d'environ 0ᵐ,30. Des montants boulonnés sur les têtes des pieux, et entretoisés par deux cours de moises et des croix de Saint-André portaient les six vérins de descente. Le montage terminé, on a exécuté les $\frac{2}{3}$ environ de la maçonnerie de la crinoline, les matériaux étant amenés par bateau, sous le plancher.

La chambre de travail, pesant environ 62 000 kilos (*), fut alors soulevée par les vérins, le plancher enlevé, et les descentes commencèrent par hauteurs d'un mètre : chacune durait en moyenne trois quarts d'heure et exigeait cinq charpentiers et vingt manœuvres. Le béton entre les poutres et la maçonnerie entre les hausses suivaient la descente. La hauteur totale parcourue de la plate-forme de montage, au point où les vérins furent enlevés, fut de $6^m,04$ (**).

Pile n° 4. (Pl. 4, *fig*. 7 et 8.) — Le caisson avec deux rangs de hausses fut monté sur berge, le tranchant reposant sur des tasseaux, à $0^m,40$ environ au-dessus d'une plate-forme de sable bien réglée.

Sur la berge, dressée en talus au $\frac{1}{7}$ sur une longueur de 6 mètres, on posa deux longrines de $30^c/40^c$ armées de deux rails jumelés, une de leurs extrémités engagée sous le couteau, l'autre dépassant de 5 à 6 mètres le talus de la berge et s'arrêtant à $2^m,50$ au-dessus du fond du lit de la

(*) Soit 10 333 kilogrammes par chaque vérin, et une tension de $2^k,68$, par $\overline{0,001}^2$ de section de la vis du vérin. (Pl. 4, *fig*. 13.)

(**) Le gravier fut rencontré du côté de Marmande à $0^m,52$ plus haut que du côté Casteljaloux : les 3 vérins de rive furent immédiatement enlevés : pendant quelques jours le caisson reposa à droite sur le gravier, à gauche sur les trois autres vérins.

Garonne, de façon à basculer dès que l'axe du caisson eut dépassé le pied du talus.

Le caisson, retenu à sa partie supérieure par un câble de retour, fut poussé à l'aide de 4 crics sur les rails des deux longrines. Le lançage n'a pas duré trois quarts d'heure et a coûté moins de 150 francs ; la descente par vérin du caisson 3 a coûté dix fois plus.

Le caisson flottant (*) a été maintenu à son emplacement définitif par quatre pieux, deux à l'amont, deux à l'aval, reliés à ceux des deux palées voisines et échoué sans aucun accident.

Les dépenses des installations spéciales en rivière sont résumées ci-après:

(*) La ligne de flottaison était à $2^m,36$ au-dessus du tranchant : soit $0^m,30$ au-dessus du plafond. Cette dernière hauteur est en effet donnée par l'équation : $x \times 73$ mètres carrés (surface d'eau déplacée) $\times$ $1,000^k$ $=$ 221 000 kilogrammes (poids du caisson avec ses hausses).

	Cube en fondation.	PONT DE SERVICE. — Pieux (a). Pin (à 30 et 35 fr. le mètre cube). — Nombre de pieux.	Pieux (a). — Cube.	Charpente. — de pin à 65 francs (démolition comprise).	Charpente. — de sapin à 94 fr. et 100 fr. pour la ligne (c).	Fiches.	Fers. — à 0f,80 (boulons, crampons).	Fers. — à 0f,28 (rails).	Prix de premier établissement.	Moins-value à la fin des travaux.	GRUE roulante (d). — Prix de premier établissement.	GRUE roulante (d). — Moins-value à la fin des travaux.	Dommages causés par les crues.	Totaux des dépenses de premier établissement.	Intérêt à 6 p. 100 pendant 1 an.	FRAIS à compter (somme des moins-values, des dommages et des intérêts). — Totaux.	FRAIS à compter. — Par mètre cube.
	mc.		mc.	mc.	mc.	m.	kil.	kil.	fr. c.	fr. c.	fr.	fr.	fr.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
Pile n° 1. .	669 94	18	6 02 (à 30 fr.)	11 00	8 92	48 60 (à 3 fr.)	313 90	1276 80	2531 70	1936 74	525	150	»	3056 70	183 40	2270 14	3 39
Pile n° 2. .	609 98	15	5 02 (à 30 fr.)	10 08	9 21	40 50 (à 3 fr.)	295 00	1231 20	2409 78	1830 83	525	150	»	2934 78	176 08	2156 91	3 54
Pile n° 3. .	672 90	31 (b)	17 26	10 43	15 36	76 58 (à 4 fr. 60)	574 00	1255 50	3963 30	2921 54	525	150	900	7891 31	473 48	5870 70	8 72
		» (c)	»	3 97	29 05	»	299 95	»	3403 01	1435 68							
Pile n° 4. .	667 72	24	14 01	9 25	7 79	33 60 (à 6 fr. 20)	301 70	869 55	2574 61	1828 25	525	150	900	3099 61	185 93	3064 23	4 50
TOTAUX. .	2620 54	88	42 31	44 73	70 33	199 28	1784 55	4633 05	14882 40	9943 04	2100	600	1800	16982 40	1018 94	13361 98	

Observations. — (*a*) Le sabotage et l'arrachage ont été comptés 2f,40 en moyenne par pieu. (*b*) La ligne (*b*) se rapporte aux installations situées au-dessous du niveau du rail. — (*c*) La ligne (*c*) comprend toutes les installations faites au-dessus des rails du pontde service pour l'établissement des vérins de suspension. — (*d*) La grue roulante comporte 13mc,37 de charpente de sapin, 100 kilog. de fer et 4 fortes roues en fonte, dont 2 à engrenage.

C. — *Installations ne s'appliquant qu'aux fondations du viaduc de Canabéra* (Rive gauche).

	CUBES.	PONT de service. (a) — Dépenses de premier établissement.	PONT de service. (a) — Dépréciation.	GRUE roulante. — Dépenses de premier établissement.	GRUE roulante. — Dépréciation.	VOIE provisoire. — Dépenses de premier établissement.	VOIE provisoire. — Dépréciation.	ABRI d'une machine soufflante de 16 chevaux. — Dépenses de premier établissement.	ABRI d'une machine soufflante de 16 chevaux. — Dépréciation.	ABRI d'une machine soufflante de 8 chevaux. — Dépenses de premier établissement.	ABRI d'une machine soufflante de 8 chevaux. — Dépréciation.	Totaux des frais de premier établissement.	Intérêt à 6 p. 100 pendant 1 an.	FRAIS à compter — Totaux.	FRAIS à compter — Par mètre cube.
	mc.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
Culée rive gauche du grand pont.	720 72	»	»	131 25	37 50	»	»	»	»	»	»	131 25	7 875	45 375	0 06
Viaduc de Canabéra.															
Pile n° 1. . . .	293 16	187 53	54 33	131 25	37 50	226 87	31 56	54 23	44 46	»	»	599 88	35 993	203 843	0 69
— n° 2. . . .	303 55	187 53	54 33	131 25	37 50	226 88	31 56	54 23	44 46	»	»	599 89	35 993	203 843	0 67
— n° 3. . . .	285 82	187 53	54 33	131 25	37 50	226 87	31 56	54 23	44 46	»	»	599 88	35 993	203 843	0 71
— n° 4. . . .	319 68	187 53	54 33	131 25	37 50	226 88	31 56	54 23	44 46	»	»	599 89	35 993	203 843	0 64
— n° 5. . . .	317 96	187 53	54 33	131 25	37 50	226 87	31 56	54 23	44 46	»	»	599 88	35 993	203 843	0 64
— n° 6. . . .	316 20	187 53	54 33	131 25	37 50	226 88	31 56	54 23	44 46	»	»	599 89	35 993	203 843	0 64
— n° 7. . . .	320 14	187 53	54 33	131 25	37 50	226 87	31 56	54 23	44 46	»	»	599 88	35 993	203 843	0 64
— n° 8. . . .	303 10	187 53	54 33	131 25	37 50	226 88	31 56	54 23	44 46	»	»	599 89	35 993	203 843	0 67
— n° 9. . . .	323 93	187 53	54 33	131 25	37 50	226 87	31 56	54 23	44 46	»	»	599 88	35 993	203 843	0 63
— n° 10. . . .	329 60	187 53	54 33	131 25	37 50	226 88	31 56	54 23	44 46	»	»	599 89	35 993	203 843	0 62
— n° 11. . . .	317 99	187 54	54 34	131 25	37 50	226 87	31 56	54 23	44 46	»	»	599 89	35 993	203 853	0 64
— n° 12. . . .	316 20	187 54	54 34	131 25	37 50	226 88	31 56	54 23	44 47	»	»	599 90	35 993	203 863	0 64
— n° 13. . . .	316 20	187 54	54 34	131 25	37 50	226 87	31 57	54 24	44 47	»	»	599 90	35 993	203 873	0 64
— n° 14. . . .	316 20	187 54	54 34	131 25	37 50	226 88	31 57	»	»	112 33	92 33	658 00	39 480	255 220	0 81
— n° 15. . . .	316 20	187 54	54 34	131 25	37 50	226 87	31 57	»	»	112 33	92 33	657 90	39 480	255 220	0 81
Culée.	336 40	»	»	»	»	226 88	31 57	»	»	112 34	92 34	339 22	20 353	144 263	0 43
TOTAUX.	5753 10	2813 00	815 00	2100 00	600 00	3630 00	505 00	705 00	578 00	337 00	277 00	9585 00	575 100	3350 100	

Observations. — (*a*) Le pont de service comprend simplement une voie provisoire pour la manœuvre d'une 2ᵉ grue roulante, courant sur longrines posées sur le sol et soutenues à la traversée des fouilles de chaque pile par des chevalets. Cette voie, d'une longueur totale de 130 mètres, est déplacée au fur et à mesure de l'avancement des ouvrages.

faits au 1er novembre. (8 400 mètres cubes.)

	FRAIS à compter. Totaux.	Par mètre cube.	OBSERVATIONS.
	fr. c.	fr. c.	
Personnel et surveillance. (Du 1er juillet 1880 au 1er novembre 1881.)	48 000 00	5 71	Un ingénieur représentant de l'entreprise, 2 dessinateurs, 1 comptable, 1 chef de chantier, 1 chef d'équipe, 1 maître charpentier, 1 maître charretier, 1 surveillant, le personnel de la forge (1 forgeron et 2 aides) non compris les chefs de poste, dont la dépense est comptée dans le prix de déblai.
Assurance contre les maladies et les accidents	1 400 00	0 17	2f,60 p. 100 du prix de main d'œuvre, les entrepreneurs retenant suivant l'usage 2 p. 100, il ne reste à compter que 0f,60 p. 100.
Frais d'adjudication (affiches, frais d'expéditions, etc.)	1 295 80	0 13	A répartir sur 10 000 mètres cubes.
Patente (loi du 15 juillet 1880) sur 606 300 francs, montant des 21 fondations au-dessous de l'étiage. { Droit fixe 5f × 0f,25 × 6063f = 1515f,75; Droit proportionnel (sur la maison d'habitation) $\frac{1}{15}$ × 800f = 53 33; Droit principal 1569 08; Centimes additionnels 1f,05897 × 1569,08 = 1663 02 }	3 232 10	0 38	
Droits d'enregistrement (pour 606 300 francs). { Enregistrement 620f,00; Décime 155 00 }	775 00	0 09	
Perte d'intérêt du cautionnement de 35 000 francs pendant 17 mois, soit 2 p. 100	1 000 00	0 12	
Intérêts d'avances de fonds et de retenue de garantie	4 800 00	0f,57	
Frais divers qui ne peuvent être classés.			
Voyages avant et pour l'adjudication (par aperçu)	1 500 00	0 15	A répartir sur 10 000 mètres cubes.
Frais de transport du matériel et du personnel (par aperçu)	4 800 00	0 48	
TOTAUX	67 002 90	7 80	

Récapitulation des frais à compter par mètre cube pour matériel, installations et frais généraux.

	MATÉRIEL.	INSTALLATIONS.	FRAIS généraux.	ENSEMBLE.
GRAND PONT.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
Pile n° 1	2 91	3 84	7 80	14 55
— n° 2	2 91	3 99	7 80	14 79
— n° 3	2 91	9 17	7 80	19 88
— n° 4	2 91	5 04	7 80	15 75
Culée rive gauche	2 91	0 51	7 80	11 22
VIADUC DE CANABÉRA.				
Pile n° 1	2 91	1 14	7 80	11 85
— n° 2	2 91	1 12	7 80	11 83
— n° 3	2 91	1 16	7 80	11 87
— n° 4	2 91	1 09	7 80	11 80
— n° 5	2 91	1 09	7 80	11 80
— n° 6	2 91	1 09	7 80	11 80
— n° 7	2 91	1 09	7 80	11 80
— n° 8	2 91	1 12	7 80	11 83
— n° 9	2 91	1 08	7 80	11 79
— n° 10	2 91	1 07	7 80	11 78
— n° 11	2 91	1 09	7 80	11 80
— n° 12	2 91	1 09	7 80	11 80
— n° 13	2 91	1 09	7 80	11 80
— n° 14	2 91	1 26	7 80	11 97
— n° 15	2 91	1 26	7 80	11 97
Culée	2 91	0 88	7 80	11 59

CHAPITRE IV.

TRAVAUX.

Exécution des fonçages. — Accidents. — Renseignements statistiques.

Nous ne citerons ici que les faits intéressants, observés en dehors de la marche régulière des fonçages.

Déversement de la pile 3 du Grand Pont. — Le caisson fut échoué le 4 décembre sur le gravier avec une inclinaison transversale de 4,2 p. 100, qui avait disparu quand on atteignit le tuf. Mais, par suite sans doute d'une plus grande hauteur de gravier du côté de la rive, il s'inclina de

nouveau vers le thalweg, malgré les précautions prises pour le redresser (*).

A la dernière descente, la rigole sous le tranchant n'étant ouverte que du côté des terres, la pression fut lâchée jusqu'à 0, sans que l'inclinaison diminuât : elle était alors de 3,1 p. 100.

Le fonçage interrompu par les crues d'hiver fut repris le 10 juillet 1881, plus de six mois après : dans cet intervalle, les eaux avaient déchaussé le massif, dont l'inclinaison descendit d'elle-même de 3,1 p. 100 à 1,1 p. 100.

On crut pouvoir alors enlever les étais qui gênaient le travail ; mais l'inclinaison augmenta de nouveau jusqu'à 2,4 p. 100 ; de nouveaux étais la réduisirent à 1,2 p. 100. — Une maçonnerie de briques posées à plat fut engagée sous le tranchant avant le remplissage, du côté du thalweg.

C'est le seul caisson qui se soit déversé : il a été facile pour tous les autres, surtout dans le gravier, d'obtenir des descentes verticales (**).

Accident à la pile 1 du viaduc. Décollement horizontal des maçonneries pendant une descente.(Pl. 4, *fig.* 8 *bis* à 12.) — Les fondations du viaduc étaient foncées sans hausses : pour la pile 1, au-dessus de la chambre de travail, d'une hauteur de $2^m,51$, les moellons de parement, posés sans garnis et rejointoyés au ciment, frottaient directement sur le terrain traversé, lequel se composait de graviers récents très mobiles, s'enlevant facilement à la pelle sans piochage, et donnant par conséquent lieu à un frottement considérable.

Le 1er avril 1881, on procéda à une descente dans les conditions suivantes (voir Pl. 4 *fig.* 12) :

(*) Dragage du gravier, étais sous le poutrage du côté le plus bas, charge sur les maçonneries du côté opposé.

(**) Au demeurant, les ressauts excessifs qui avaient été ménagés, mettaient à l'abri de toute difficulté d'implantation dans les maçonneries d'élévation.

Encastrement	dans le tuf.		$0^m,98$
	dans le gravier	de la chambre de travail. . .	$1^m,53$
		de la maçonnerie	$5^m,95$
Poids	de la maçonnerie exécutée.		$664\,800^k,00$
	de la surcharge (moellons rangés à la main sur les maçonneries). . . .		$60\,000^k,00$
	de la chambre de travail (fers, maçonnerie de la crinoline, sas, cheminées, béton entre les poutres).		$105\,600^k,00$
	Total. . . .		$830\,400^k,00$

soit en atmosphères $\dfrac{830\,400^k}{10\,333^k \times 45^{mq},171} = 1^{at},779.$

Sous-pression de l'air comprimé	Pression au manomètre. . .	$0^{at},85$
	Pression par mètre carré $0,85 \times 10\,333 =$	$8\,783,05$
	Pression totale $8\,783,05 \times 45^{mq},171 =$	$396\,700^k,$
Excès de charge	en kilogrammes (sur la surface totale).	$433\,700^k$
	en atmosphères.	$0^{at},929$

La pression fut abaissée de $0^{at},85$ à $0^{at},20$; à ce moment il se produisit comme deux bruits de chocs très rapprochés, et le massif descendit d'une hauteur de $0^m,69$.

On constata immédiatement, en relevant les distances verticales de repères fixes sur les sas et sur les maçonneries, qu'elles s'étaient accrues de $0^m,08$ et $0^m,12$; il y avait donc eu décollement horizontal du massif.

On s'explique facilement les deux secousses observées : dès que, par suite de l'abaissement de la sous-pression, la séparation se fut faite, la chambre de travail avec les che-

minées et les sas, se mit seule en marche. Quand les sas vinrent reposer par leur partie inférieure sur les moellons de surcharge, les cheminées firent tirants, et transmirent à la partie supérieure du massif le poids de la chambre augmenté de la force vive de la première descente ; sans cette heureuse circonstance, le décollement eût été de toute la hauteur de la descente, soit de $0^m,69$, et les travaux de reprise fussent devenus fort difficiles.

On continua le fonçage jusqu'à la cote prévue, en soutenant le caisson à l'emplacement qu'il occupait après la descente. Après le remplissage de la chambre, on procéda comme suit à la réparation de l'accident (Pl. 4, *fig.* 8 *bis* à 11) :

On enleva les cheminées et les écluses, et sur la partie supérieure du massif on scella au ciment, au droit de chaque puisard, une plaque carrée de tôle de $2^m,40$ de côté et $0^m,015$ d'épaisseur, raidie sur les deux axes et les diagonales par un T de $\frac{100 \times 60}{8}$, sur laquelle on boulonna une écluse avec une virole de 2 mètres, après avoir exécuté 2 mètres de maçonnerie, pour maintenir la plaque d'appui. L'air comprimé permit de descendre au niveau de la cassure, laquelle suivait le plan supérieur des ailes du poutrage, à la séparation de la maçonnerie et du béton.

On démolit alors, par reprises successives 1,1—2,2—3,3—4,4—5,5 (Pl. IV, *fig.* 8 *bis* à 10) la maçonnerie faite depuis chaque cheminée jusqu'à $0^m,35$ à $0^m,40$ au plus du parement extérieur : comme l'eau ne pouvait descendre qu'au niveau de la lèvre supérieure de la cassure, et qu'elle montait d'une dizaine de centimètres à chaque éclusée, on posa, après décapement de l'ancien béton, une couche de $0^m,30$ de béton fin de Portland, qu'on bourra jusqu'au parement extérieur, et on put alors exécuter à sec la maçonnerie de remplissage.

La reprise a comporté un cube de $10^m,72$ de béton

$16^{mc},07$ de maçonnerie; en tout $26^{mc},79$; elle a duré 324 heures (13 jours 5) et coûté 4 700 francs, savoir :

Fourniture et scellement de deux plaques carrées en tôle de $0^m,015/2^m,40$, 1 454 kilogrammes à $0^f,755$ =	$1\ 178^f,53$
Transport, mise en place et ajustage des sas, nettoyage des anciennes maçonneries, pose des conduites d'air.	257 61
Enduit de ciment à l'intérieur des puisards. .	307 85
Maçonneries de reprise — Démolition.	370 38
Maçonneries de reprise — Reconstruction.	1 095 88
Fourniture d'air comprimé (324 heures à $4^f,25$).	1 377 00
Divers (location des cheminées et sas).	112 75
En tout. . . .	$4\ 700^f,00$

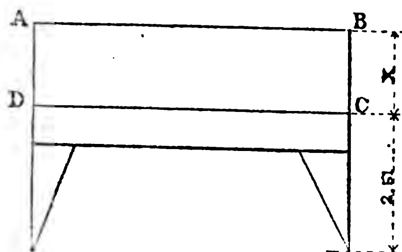
soit par mètre cube de reprise $\frac{4\ 700}{26,79} = 175^f,44$.

On peut se rendre compte comme suit des causes de l'accident.

Etant donné un massif de fondation retenu par le frottement latéral et la sous-pression, à quelles conditions, et pour quelle section pourra se produire une séparation horizontale du massif? Soient :

AB une section quelconque.

x sa hauteur au-dessus du niveau supérieur des poutres.



z la hauteur d'encastrement au-dessus de AB.

R_a la résistance à l'arrachement par mètre carré de la section AB.

K_1 le frottement moyen par unité de la tôle sur le terrain traversé au niveau du couteau.

K_2 le frottement moyen par unité de la maçonnerie sur le terrain traversé à la profondeur $z+x$.

y la valeur en mètres d'eau de la sous-pression.

La surface AB, déduction faite des deux cheminées est. . . . . 42^{mq},00
Celle du massif. 45 00
Le périmètre. . . . . 25^{m} 00

Le massif au-dessus de AB étant retenu par le frottement latéral, on doit avoir, pour qu'il n'y ait pas rupture, l'inégalité suivante entre les forces agissant sur la partie inférieure.

Poids du segment $\leq$ résistance à l'arrachement
+ frottement latéral + sous-pression.

$$\underbrace{42^{mq} \times 2400^{k} \times x}_{\text{Poids de ABCD.}} + \underbrace{105\,600^{k}}_{\substack{\text{Poids}\\ \text{du caisson}\\ \text{et des sas.}}} \leq 42^{mq} \times R_a + 25\Big[K_2\,[(z+x)^2 - z^2] + K_1\,[(z+x+2{,}51)^2 - (z+x)^2]\Big] + 45^{mq} \times 1000 \times y.$$

$$100\,800\,x + 105\,600^{k} \leq 42\,R_a + 45\,000\,y + 25\,\Big\{K_2 x\,(2z+x) + K_1\,2{,}51\,[2(z+x) + 2{,}51]\Big\}.$$

Pour une section quelconque, autre que DC, on peut admettre :

R_a (adhérence de la maçonnerie sur la maçonnerie avec des mortiers de chaux du Teil vieux de quarante-cinq jours). . 15 000^{k}

Remplaçant R_a, négligeant K_1, prenant pour K_2 400 kilogrammes valeur inférieure à la limite trouvée plus loin de 500 kilogrames, et ne tenant pas compte du terme en z, c'est-à-dire faisant trois hypothèses défavorables, l'inégalité se réduit à :

$$x^2 - 10{,}08\,x + 4{,}5\,y + 52{,}44 \geq 0.$$

Supposons le cas limite $y=0$ (qui se produit dans les terrains étanches),

$$x^2 - 10{,}08\,x + 52{,}44 \geq 0,$$

inégalité satisfaite par toute valeur de x.

Si on néglige encore le frottement K_1, l'inégalité devient :

$$x < 5^m,20 + 0,4y, \quad \text{soit} < 5,20$$

si la sous-pression devient nulle. On voit qu'on n'avait pas à craindre à Marmande de rupture du massif de maçonnerie (*) :

Mais si on considère seulement le segment inférieur à CD, en appelant R_b la résistance à l'arrachement suivant CD, l'inégalité précédente deviendra, en négligeant K_1 comme précédemment :

$$105\,600^k \leqslant 42^{mq} \times R_b + 45\,000y.$$

R_b est très petit, en raison de la faible adhérence de la maçonnerie sur le béton (on n'avait pas assez ménagé d'arrachements) et sur les ailes des poutres. Négligeant R_b, la condition pour qu'il n'y ait pas de tension suivant CD, est :

$$y \geqslant \frac{105\,600^k}{4500}, \quad \geqslant 2^m,35.$$

La rupture s'est en effet produite pour $y = 2^m,20$.

Inconvénients de la suppression des hausses. — Moyens employés pour prévenir les accidents qui en résultent. — L'économie résultant de la suppression des hausses est en moyenne par mètre carré de 34 kilogrammes de fer, soit environ 17 francs; soit pour une pile de viaduc, de

(*) Il est bien entendu que cette observation n'a de valeur que pour les cas où se réalisent les hypothèses restreintes du calcul, savoir :

Un massif, dont les maçonneries sont vieilles d'un mois et demi au moment du fonçage, — deux terrains de frottements différents, mais tous deux homogènes, sans points de résistance particuliers, et séparés par un plan horizontal.

Ces circonstances se rencontrent à peu près dans tout le bassin lacustre de la Garonne.

Mais le calcul et l'observation ci-dessus n'ont plus de sens dans tout autre cas, par exemple :

Gros blocs se coinçant dans les irrégularités du parement, s'il est mal revêtu, soit par des hausses trop minces, soit par un enduit insuffisant ; — plans de glissement inclinés donnant lieu à d'importants mouvements de terrain et par suite à des cisaillements du massif; — maçonneries trop fraîches au moment de la descente, etc...

Il est évident que dans ces cas, des décollements peuvent se produire en tout autre point du massif que le dessus des poutres.

25 mètres $\times$ 17 francs = 425 francs par mètre de hauteur, $\frac{425}{45} = 9^{f},22$ par mètre cube, et 425 francs $\times$ 6 mètres = 2 550 francs par fondation, 40 000 francs pour les quinze piles et la culée du viaduc. Mais on renonce ainsi aux avantages des hausses, qui diminuent les frottements latéraux et en rendant solidaire toute la surface extérieure des massifs, préviennent l'effet des différences de poussée qui peuvent se produire aux différentes hauteurs; si l'on ne prend pas les précautions énumérées plus loin, l'on s'expose à perdre en travaux de reprise bien au delà de l'économie réalisée par la suppression des hausses.

On vient de voir qu'à Marmande on n'avait pas, pour des maçonneries assez anciennes, à craindre de décollement au milieu du massif. Il n'y avait de danger qu'au plan supérieur du poutrage pour lequel, d'une part, la résistance à l'arrachement est sensiblement moindre, de l'autre, le frottement latéral est réduit par la paroi du caisson. Cette double cause de danger n'existe pas pour les fondations sur rouet, qui formant un massif homogène, n'ont pas de plan de séparation au-dessus des chambres de travail, et dont les parois présentent sur toute la hauteur une égale résistance au frottement.

Nous remarquerons, en passant, que le danger des décollements serait très sensiblement réduit dans un terrain perméable, pour lequel la sous-pression ne pourrait se réduire que de la hauteur du caisson : soit de 2 mètres seulement.

Pour prévenir le retour de l'accident de la pile 1, il fut interdit, pour les piles suivantes, d'abaisser la pression dans la chambre au-dessous de $0^{at},55$ — soit 2 fois et un tiers le poids de la chambre de travail (métal, béton, crinoline et sas). — On relia solidement les sas aux maçonneries supérieures; les cheminées faisaient ainsi tirants, et rendaient la chambre solidaire du massif. Enfin la pression ne fut

plus lâchée par les soupapes, mais seulement par les quatre robinets des sas.

Pour réduire le frottement des maçonneries sur le gravier, on revêtit le parement du massif, sur une hauteur de 6 mètres, d'un enduit de mortier de Portland de 1 centimètre à $1^c,5$ d'épaisseur (1 volume de sable pour 1 volume de ciment), soigneusement lissé : il a coûté en moyenne $2^f,30$ par mètre carré de parement. Le mètre carré de hausses de $0^m,003$ pèse 34 kilogrammes et coûte 17 francs.

Pour les piles 2 et 3, en cours de fonçage, on s'est borné à disposer autour du massif des saucissons d'osier qui descendaient avec lui. Lorsque, malgré l'abaissement de la pression, les massifs ont cessé de descendre, on a profité de l'étanchéité du tuf, pour continuer le fonçage jusqu'à la cote prévue, et tout remplir en béton, en défendant par un muraillement en briques toute la partie en contre-bas du tranchant. (Pile 3. Voir Pl. 3, *fig.* 1.)

Les onze piles (2 à 12) ont été, grâce aux précautions prises foncées sans aucun accident : l'enduit de ciment à très sensiblement facilité les descentes : il a suffi partout d'abaisser la pression de deux à trois dixièmes (*).

Remplissage des chambres de travail.

a. — *Remplissage en béton.* — Le béton était composé de trois volumes de sable, pour deux de mortier au dosage de 460 kilogrammes de Portland par mètre cube de sable ; la composition moyenne du mètre cube de béton mis en œuvre a été 185 kilogrammes de ciment, $0^{mc},347$ de sable, $0^{mc},650$ de gravier.

(*) Une bonne précaution, qu'il n'était plus temps de prendre, eût été d'attacher le caisson au massif par des tirants ancrés dans la maçonnerie : il eût suffi de 17 tirants de $0^m,025$, travaillant à 12 kilogrammes, pour soutenir les 105 800 kilogrammes de la chambre de travail et prévenir l'accident de la pile 1 : la dépense par pile n'eût pas dépassé 300 francs.

Pour les fondations sur rouet, le damage du béton dans la chambre de travail se fait sous les pieds comme pour le béton posé à sec à l'air libre : l'angle aigu de l'ogive est facile à bourrer; tout au plus resterait-il au milieu du massif un petit vide triangulaire à l'arête de la voûte.

Il n'en est pas de même pour les caissons ordinaires, où l'on doit bourrer le béton de bas en haut sous un plafond horizontal, et nous ne croyons pas qu'un ingénieur puisse jamais compter sur un bourrage sans vide (*) ; c'est à peine si avec l'exactitude la plus scrupuleuse dans la surveillance et l'exécution, et en supposant le travail exécuté sous ses yeux, il pourra répondre d'un remplissage suffisant.

La pose du béton s'effectuait comme suit :

Le béton est d'abord pilonné par couches horizontales de $0^m,30$ à $0^m,40$ jusqu'à une hauteur uniforme de $0^m,50$ à $0^m,60$, puis relevé en talus autour de chaque cheminée : les talus étaient damés avec soin, et on bourrait sous le plafond avec des bourroirs en bois taillés en biseau. A la fin, il n'y a place que pour un tubiste, qui doit remonter à chaque éclusée du béton.

Peut-on, dans de pareilles conditions, sérieusement compter sur la bonne exécution d'un travail impossible à sur-

(*) La question du remplissage est celle qui a le plus préoccupé les ingénieurs. A la culée est du pont Saint-Louis, sur le Mississipi, le remplissage a été exécuté avec du sable sur la plus grande hauteur, et achevé en béton. A la pile Brooklyn du pont sur la rivière de l'Est, le plafond fut soutenu par 72 piliers de briques calculés pour supporter à eux seuls toute la charge, en cas d'abaissement de pression (M. Malézieux, *Fondations à l'air comprimé*, 1874, p. 52). Pour diminuer le cube du déblai et celui du remplissage on a quelquefois laissé le so intérieur plus haut que le tranchant du caisson; à Brooklyn (M. Malézieux, ouvrage cité plus haut, p. 55) on laissa 1 mètre de sol naturel (argile compacte). A Marmande on a laissé à la pile 1 du grand pont $0^m,15$ à $0^m,20$ (marne compacte). Aux ponts de Nantes sur la Loire, on avait conservé sous le béton, une épaisseur de sable de $0^m,75$. M. Morandière (p. 107) attribue à cette tolérance les tassements observés dans les massifs, qui ont atteint jusqu'à $0^m,468$ à la pile 5 du deuxième bras. Dans un grand nombre de fondations, on s'est contenté de béton de chaux, qui prend moins vite, mais a moins de retrait que le béton de ciment. (Ponts de Sainte-Foix et Prigonrieux sur la Dordogne (béton de chaux de Saint-Astier).

veiller, et confié à de simples manœuvres, qui n'ont même pas, comme l'ont souvent les maçons, l'amour-propre de leur métier?

b. — *Bourrage en maçonnerie ordinaire.* — Dans quelques fondations, nous avons essayé de terminer le remplissage avec de la maçonnerie ordinaire; nous croyons, après expérience, que c'est un plus mauvais système; car si l'on peut, à la grande rigueur, poser d'une manière à peu près satisfaisante du béton dans une chambre, on est certain de n'y faire qu'une maçonnerie fort médiocre. A Marmande, on ne trouvait pas de maçons pour descendre du premier coup dans de l'air comprimé à sa pression maxima, vicié et surchauffé par le ciment et les bougies, et ne se renouvelant plus en raison de l'étanchéité du tuf, et il fallait en confier l'exécution à des manœuvres dans des conditions déjà difficiles pour un maçon de profession, sans possibilité de surveillance sérieuse, dans un air obscurci par la fumée des bougies et la vapeur d'eau qui se formait à chaque éclusée, quand le volume de la chambre était trop réduit par le remplissage. Le béton au contraire est fabriqué à l'air libre : on n'a dans la chambre qu'à surveiller la simple opération du damage, à laquelle sont exercés les tubistes et qui est beaucoup plus rapide qu'un blocage en moellons, considération importante au point de vue de la santé des ouvriers. Aussi, malgré les craintes sérieuses de vides sous le plafond, ou de tassement dans le béton, ce mode de remplissage est-il le plus généralement employé aussi bien pour les ponts en maçonnerie à grandes arches (ponts de Sainte-Foy et de Prigonrieux sur la Dordogne — arches de 30 mètres) que pour les très hautes piles (pile droite du viaduc du Credo sur le Rhône : hauteur $72^{m},45$, — pile New-York du pont sur la rivière de l'Est : hauteur 105 mètres).

c. — *Bourrage en briques.* — Pour la pile 9, nous avons fait maintenir le béton par des panneaux verticaux en planches, jusqu'à $0^{m},40$ au-dessous du plafond, pour permettre

au maçon d'être bien à portée de son travail, et achever le remplissage en maçonnerie de briques, qui se prêtent bien à un bourrage sous un plafond plat, exigent peu de main-d'œuvre et se manient plus facilement que des moellons ordinaires. A cause de l'extrême chaleur de l'été 1881 (l'air des cloches, humide, c'est-à-dire n'évaporant pas, a atteint 41 degrés), ce travail, le premier de ce genre, n'a pu être exécuté dans les meilleures conditions : cependant on verra plus loin que les vides y ont été réduits de 33/100 environ. Nous pensons que c'est là, et de beaucoup, le meilleur mode de remplissage.

d. — Cubes et vitesses de remplissage. — Le tableau ci-après donne, pour les vingt et une fondations, les cubes et les vitesses des remplissages des chambres de travail (*).

(*) A Brooklyn, on posait 75 mètres cubes de béton par journée de seize heures, soit $4^{mc},56$ par heure, avec deux puits (M. Malézieux, *Fondations à l'air comprimé*, p. 55).

DÉSIGNATION des fondations.	Nombre de portes. (a)	Durée en heures du remplissage.	CUBE EMPLOYÉ total.	CUBE EMPLOYÉ par heure.	OBSERVATIONS.
Grand Pont.			mc.	mc.	
Culée (rive droite).	2	43	148,00	3,44	
Pile n° 1.......	2	42,5	122,70	2,91	
— 2.......	2	50	122,70	2,45	La première fondation de la campagne.
— 3.......	2	35	132,11	3,77	
— 4.......	2	34,5	128,00	3,71	
Culée (rive gauche)	2	41	148,00	3,61	
Viaduc.					
Pile n° 1.......	2	28	88,60	3,16	Pour les piles 1, 2, 3, le fonçage a été descendu au dessous du couteau de 0m,34 — 1m,47 — 1m,19.
— 2.......	2	34	139,60	4,11	
— 3.......	2	29	120,00	4.14	
— 4.......	2	17	72,00	4,24	
— 5.......	2	17	72,00	4.24	
— 6.......	2	17	72,40	4,26	
— 7.......	2	17	72,20	4,25	
— 8.......	2	19	72,70	3,83	
— 9.......	2	47	70,00	1,50	Y compris l'achèvement en briques sur une hauteur de 0m,40.
— 10.......	2	21	73,50	3,50	
— 11.......	2	19	72,90	3,84	
— 12.......	2	23	73,05	3,18	
— 13.......	1	34,5	60,00	1,74	
— 14.......	1	34	61,00	1,80	
— 15.......	1	37	61,10	1,65	
Culée.........	1	98	112,00	1,14	La vitesse de remplissage n'est que le tiers de celle obtenue avec deux portes, à cause de l'interruption du travail pendant l'éclusage.

(a) Sur les quatre portes des deux sas, deux étaient réservées au passage des ouvriers.

e. — Coulis de ciment pour l'achèvement du remplissage. — Pour les piles 3 et 4 du grand pont, la culée et les piles 8 à 15 du viaduc, nous avons achevé le remplissage en régie, par un coulis de ciment liquide. A l'aplomb du vide de la cheminée, la surface du béton était maintenue à $0^m,10$ ou $0^m,15$ en contre-bas du plafond, sous lequel on pratiquait de petits canaux pour l'introduction du coulis, lequel était versé du sas dans chaque cheminée ; pour le faire pénétrer dans le béton, on exagérait la pression de

l'air comprimé. Au commencement de chaque expérience l'équilibre de pression s'établissait immédiatement d'une cheminée à l'autre : à la fin, les vides étaient si bien remplis, qu'un des sas étant à une pression de 10 mètres, les portes de l'autre s'ouvraient d'elles-mêmes; l'opération durait cinq heures en moyenne.

Nous donnons ci-après les quantités de ciment employé :

		SURFACE du massif.	QUANTITÉ DE CIMENT EMPLOYÉE en poids.	en volume à l'état de pâte.	à l'état de coulis.
Caissons métalliques (plafond plat).	*Grand pont.*	mq.	kil.	mc.	mc.
	Culée (rive droite)..	90,38	1600	1,036	1,509
	Pile 3..	74,027	1462	0,974	1,379
	— 4..	74,027	1462	0,974	1,379
	Viaduc (rive gauche).				
	Pile 8.	45,17	2066	1,377	1,949
	— 9(bourrage en briques). .	45,17	952	0,634	0,898
	— 10.	45,17	1470	0,979	1,386
	— 11.	45,17	1356	0,904	1,279
	— 12.	45,17	1530	1,020	1,443
Voûtes ogivales en maçonnerie sur rouet.	— 13.	45,99	1190	0,786	1,113
	— 14.	45,99	1139	0,759	1,074
	— 15.	45,99	1178	0,785	1,111
	Culée.	68,63	380	0,253	0,358

Ce tableau met en évidence au point de vue de l'exactitude du remplissage :

1° Pour les caissons métalliques, l'avantage du bourrage en briques (pile 9).

2° La supériorité des fondations sur rouet.

Fonçages des massifs sur rouets. — Le fonçage des rouets s'est exécuté dans d'excellentes conditions : les massifs ont tenu l'air mieux que les caissons métalliques. Il n'y a eu aucune déformation dans les graviers : mais dans le tuf, aux piles 13 et 14, il y a eu déformation du rouet, à l'aval, à égale distance du sommet du grand axe aux deux autres, et en un point, rupture d'un tirant et de

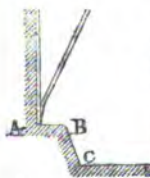
la paroi verticale du rouet entre deux contre-fiches : au-dessus de cette déformation, un léger avancement de la maçonnerie de briques. Il importe de remarquer que ces déformations ont été beaucoup moindres que celles des crinolines des caissons métalliques, dont pas une n'a atteint le fond sans de nombreuses déchirures verticales (*).

Le rouet rectangulaire de la culée Casteljaloux a été foncé sous $6^m,54$ de gravier, et $2^m,09$ de tuf sans aucun arrêt, accident ou déformation : l'intervalle entre les contre-fiches était de $0^m,778$; l'épaisseur de la paroi de $0^m,024$ pour les grands côtés et $0^m,020$ pour les petits et les tirants de $0^m,04$ et $0^m,025$; ces dimensions avaient été réduites pour les rouets elliptiques à $0^m,808$, $0^m,015$ et $0^m,025$.

Nous croyons qu'il eût convenu pour la traversée du tuf de réduire l'intervalle des consoles à $0^m,60$.

Frottements latéraux. — Tous les massifs, avec ou sans hausses ont cessé de descendre par leur poids après un certain encastrement dans le sol, dépendant de la charge, de la paroi du massif (hausses, maçonneries avec ou sans enduit) et de la nature du terrain traversé (graviers plus ou moins mobiles, tuf...).

Nous avons essayé, pour les fondations du viaduc d'évaluer la valeur du frottement du terrain sur la paroi : ces massifs présentent une retraite à $4^m,50$ au-dessus du poutrage : nous avons négligé le frottement du tuf sur les parois du caisson et admis que celui de la maçonnerie au-dessus de la retraite était, en raison des éboulements



(*) Les déformations du rouet ne se sont produites que dans le tuf : elles résultent évidemment du mode d'exécution du déblai. On laissait au droit du tranchant, pour soutenir le caisson, un petit bourrelet de tuf ABC qu'on enlevait au moment de la descente, laquelle, en raison de l'enduit extérieur de ciment et du poids du massif, s'est toujours produite d'elle-même sans abaissement de pression; le rouet, se faisant alors à lui-même son passage, tendait à se fermer vers l'intérieur. D'où les déformations observées.

Aucune déformation ne s'est produite dans les 3 rouets du viaduc de rive droite.

provoqués par le passage du massif, la moitié seulement, du frottement inférieur, bien qu'en fait il paraisse être plus considérable, et obtenu ainsi une *limite supérieure* du frottement du gravier sur la maçonnerie. K étant le coefficient de frottement par mètre carré, H l'encastrement dans le gravier de la base des maçonnertes, P le périmètre du massif inférieur, P′ le périmètre au-dessus de la retraite, on avait alors pour valeur du frottement total :

$$F = KP\left(H^2 - (H - 4{,}5)^2\right) + \frac{1}{2}KP'(H - 4{,}5)^2$$
$$= K\left[PH^2 - \left(P + \frac{1}{2}P'\right)(H - 4{,}5)^2\right]$$

π étant le poids total du massif (y compris écluses, surcharges).

z, la tension en atmosphères, indiquée au manomètre au moment d'une descente.

S la surface du massif,

on avait : $\pi = Sz\, 10^{m},333 \times 1000^{k} + F,$

d'où F.

Le tableau ci-après donne les valeurs de K, pour huit fondations (*).

(*) M. Schmoll d'Eisenwerth (voir *Zeitschrift des Vereins Deutscher Ing.* 1877) a trouvé pour le frottement les valeurs suivantes, à quatre ponts sur le Danube, *avec caissons en tôle* :

EMPLACEMENT des OUVRAGES.	NATURE DU TERRAIN TRAVERSÉ.	ENCASTREMENT DU CAISSON dans le terrain.	FROTTEMENT EN KILOS par mètre carré.
		m. m.	kil. kil.
Vienne 1868-69. .	Gravier et sable. — Couche très dure de gravier.. . .	3,6 à 7,5	1274 à 3379
Steyeregg 1870-71	Gravier et sable. — Grandes pierres vers la fin, schiste dur.	3,5 à 12,00	1743 à 2636
Vienne 1870. . . .	Gravier, sable et grandes pierres..	4,9 à 12,30	1866 à 2766
Vienne (Kronprinz Rüdolf)..	Gravier, sable et gros gravier.	6,9	2233

Il a observé de plus que le frottement variait suivant la forme du massif; qu'il était moindre pour des piles rondes ou carrées, plus grand pour les sections allongées et qu'il diminuait avec la profondeur.

DÉSIGNATION DES FONDATIONS.	TENSIONS en atmosphères au moment où la descente s'est produite. z	VALEUR de la sous-pression en kilogr. $\varpi = Sz\ 10333$.	POIDS TOTAL du massif en kilogrammes. π	VALEUR DU FROTTEMENT en kilogrammes (maçonnerie sur gravier). $F = \pi - \varpi$	ENCASTREMENT dans le gravier du dessus du poutrage H	COEFFICIENT de frottement (maçonnerie sur gravier). K	FROTTEMENT MOYEN par mètre carré de surface latérale (maçonnerie sur gravier) $\frac{P}{4,5P + (H-4,5)P'}$
Viaduc de Canabéra	at.	kil.	kil.	kil.	m.		kil.
Pile 1......	0,40	186 680	830 400	643 720	4,9	1072	5 220
	0,25	116 670		713 730	5,9	844	4 974
Pile 2......	0,70	326 700	858 000	531 300	5,9	628	3 703
Pile 3......	0,80	373 400	857 000	483 600	7,0	425	2 888
Pile 4......	0,68	317 300	854 000	536 700	5,5	720	3 983
	0,66	308 000	849 000	541 000	6,0	621	3 714
	0,69	322 000	849 000	527 000	6,5	527	3 366
	0,70	326 700	849 000	522 300	7,1	447	3 079
Pile 5......	0,80	373 400	850 000	476 400	5,9	563	3 320
	0,80	373 400	850 000	476 400	6,4	488	3 086
	1,00	466 700	850 000	383 300	6,8	353	2 350
Pile 6......	0,58	270 700	850 000	579 300	5,9	685	4 038
	0,60	280 000	850 000	570 000	6,1	636	3 856
	0,70	326 700	850 000	523 300	6,3	553	3 745
Pile 7......	0,75	350 000	850 000	500 000	5,4	697	3 771
	0,70	326 700	850 000	523 300	5,9	619	3 647
	0,70	326 700	850 000	523 300	7,1	448	3 085
Pile 8......	0,55	256 700	850 000	593 300	5,3	856	4 550
	0,50	233 400	850 000	616 600	6,3	652	4 051
	0,60	280 000	850 000	570 000	6,6	553	3 592

Dépenses d'air. — Le tableau ci-après donne les dépenses d'air et le travail correspondant en chevaux, à différentes périodes du fonçage, pour les cinq types de fondations :

DÉSIGNATION des fondations.	VOLUME d'une cylindrée. v	PRESSIONS au manomètre. $A = \frac{p}{p_0} - 1$	NOMBRE de tours par minute. N	VOLUME D'AIR PAR HEURE aspiré à la pression atmosphérique p_0 $V_1 = 2N \times 60\,v$	VOLUME D'AIR PAR HEURE fourni à la pression p (avec un rendement de 75 p. 100) $V_2 = 0{,}75\frac{p_0}{p}V_1 = 0{,}75\frac{V_1}{1+A}$	VOLUME occupé par l'air comprimé (chambres, cheminées et sas).	TRAVAIL correspondant en chevaux par seconde. τ (a)
	mc.		t.	mc.	mc.	mc.	ch.
Pile 1 du Grand Pont. Surface : 74mq,017	0,0973	0,20	33	385,44	180,67	145,20	2,1
		0,40	30	350,40	140,80	148,60	3,4
		0,60	31	362,08	127,30	155,50	5,2
		1,00	24,5	284,16	80,46	155,50	6,5
		1,40	31,5	367,92	86,22	159.00	10,8 (maximum)
Culée du Grand Pont. Surface : 90mq,38	0,0973	0,20	30	350,40	164,25	172,50	1,9
		0,50	34	397,12	148,90	175,95	5,0
		0,75	37	432,16	138,91	179,35	8,0
		1,00	40	467,20	131,40	182,85	10,4
		1,35	38	443,84	106,20	186,25	12,4 (maximum).
Viaduc de Canabéra. Pile 8. Surface : 45mq,17 (caisson métallique)	0,0973	0,45	36	420,48	16312	94,10	4,9
		0,75	34	397,12	127,60	101,00	7,4
		0,90	36	420,48	124,47	101,00	8,7
		1,05	38	443,84	121,77	101,00	10,4 (maximum).
Culée. Surface : 68mq,63 (fondée sur rouet).	0,0244	0,20	55	161,04	75,51	121,90	0,8
		0,30	57	166,88	72,22	121,90	1.3
		0,50	49	143,44	53,77	121,90	1,8
		0,60	47	137,60	48,37	125,30	2,0
		0,80	52	152,24	47,56	125,30	2,8
		0,90	60	175,68	52,02	125,30	3,6 (maximum).

OBSERVATIONS.

(a) τ est donné par la formule :

$$\tau = Ac\,1^k{,}293 \times a \times \frac{p}{p_0}\left[\left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{c-c'}{c}} - 1\right]V_2$$

dont on trouvera à la suite de ce mémoire (note A) la signification.

A cause de l'étanchéité du tuf, la pression n'a pas augmenté régulièrement avec la profondeur. Pour ce même motif, le temps employé pour chasser l'eau de la chambre a été très variable : de 1 heure à 2h.40 pour le viaduc, de 1 à 2 heures pour la pile 1 du grand pont, de 3 heures pour la culée. Pour la pile 2, on n'a pu parfois chasser l'eau sous le couteau, et on a dû la vider par les écluses comme du déblai ordinaire. (Cet inconvénient, qu'on pouvait prévoir, eût été facilement évité en disposant un tuyau plongeant au niveau du sol et débouchant à l'air libre.)

Le volume occupé par l'air comprimé se décomposait comme suit, à la fin de chaque fonçage :

	GRAND PONT pile 1.	GRAND PONT culée.	VIADUC pile 8.	VIADUC culée.
Chambre de travail. . .	127.00	154,85	73.00	112,00
Cheminées. .	18.30	17.70	14,30	6,80
Sas.	9,60	9,60	9.60	6,50
Ecluses. . .	4,10	4,10	4,10	»
TOTAL. .	159.00	186,25	101,00	125,30

Observations physiologiques. — Du 22 octobre 1880 au 1er septembre suivant, soit en 313 jours, pour dix-huit fondations, comportant un cube de 7426 mètres cubes, le nombre des tubistes travaillant par poste de six heures, a été de 185, représentant environ 119400 heures de travail dans l'air comprimé, et 14 400 compressions, à une pression maxima de 9 à 12 mètres (qui a atteint exceptionnellement 15 mètres), et un jour 22 mètres.

Il y a eu 106 malades; soit 57,3 p. 100, et 164 cas de maladies se décomposant comme suit :

NATURE DES MALADIES.	NOMBRE des tubistes malades.	NOMBRE des cas de maladie.	NOMBRE des jours de maladie.	RAPPORT du nombre des malades à celui des ouvriers employés.	RAPPORT des cas de maladie au nombre d'ouvriers.
1° *Maladies résultant directement de l'action physiologique de l'air comprimé.*					
Syncope (*a*)	1	1	1		
Troubles de l'ouïe (*b*)	7	7	49		
Accident de décompression (*c*)	1	1	23		
Congestion pulmonaire avec crachement de sang	1	1	5		
Lumbago (*d*)	6	7	87		
Douleurs articulaires ou musculaires	8	8	44		
	24	25	209	0,129	0,135
2° *Maladies pouvant résulter des conditions du travail, mais non de la tension de l'air.*					
Bronchites (*f*)	38	58	660	0,205	0,313
3° *Maladies non attribuables au sytème de fondation.*					
Fièvres, contusions ou autres	43	81 (*g*)	844	0,239	0,438
TOTAUX	105	164	1713	0,573	0,886

OBSERVATIONS.

(*a*) Survenue une demi-heure après la sortie du sas.

(*b*) Un cas de surdité complète d'un côté, écoulement de sang par le conduit auditif, bourdonnements.

(*c*) Syncope une demi-heure après la sortie du sas, trouble de l'ouïe, surdité des deux côtés, vertiges, mouvement de balancement d'avant en arrière quand le malade était assis, impossibilité de se tenir debout, dilatation des pupilles.

(*d*) A remarquer chez des ouvriers exempts de rhumatismes.

(*f*) Les 58 cas de bronchite se répartissent comme suit sur les dix mois.

	Cas de maladie.
Novembre 1880	2
Décembre —	0
Janvier 1881.	0
Février —	1
Mars —	4

	Cas de maladie.
Avril 1881..	8
Mai —	7
Juin —	24
Juillet —	8
Août —	4

On serait tenté d'attribuer la fréquence des bronchites au froid humide de la décompression, mais la répartition par mois des cas de maladie, la comparaison avec ce qui a été constaté chez les soldats et dans la population civile, montrent que la cause est à peu près indépendante des conditions du travail. Les particules de charbon venant des bougies irritent sans doute les bronches et prédisposent au catarrhe, mais sans le déterminer, et amènent plutôt l'affection spéciale aux tailleurs de pierre, mineurs, meuniers, chaufourniers, etc.

(*g*) Sur lesquels 3 cas seulement de rhumatisme, qui a été, au contraire, la maladie la plus fréquemment observée pendant la même période dans la garnison et la population civile.

M. Dantin, médecin-major de la garnison, qui a bien voulu résumer les observations faites, estime que :

1° La maladie qui a prédominé chez les tubistes (la bronchite) paraît indépendante du travail dans l'air comprimé.

2° Le nombre des cas de rhumatismes rencontrés chez les tubistes a été sensiblement moindre que ceux observés dans la garnison et la population civile de Marmande pendant la même période.

3° Sur les 164 cas de maladies observées chez les 185 ouvriers, 10 résultent certainement de l'action de l'air comprimé, et 15 autres lumbago et douleurs articulaires) en sont une conséquence probable.

Renseignements statistiques sur la marche des travaux. — Ils sont résumés dans le tableau ci-après et dans le graphique (Pl. 7) : on peut y avoir toute confiance. Comme les prix de revient, qui seront donnés plus loin, tous résultent d'attachements pris, pendant toute la durée de l'exécution des travaux, sans qu'aucun d'eux ait été déduit ou modifié, par comparaison avec les autres : mais tous ont fait l'objet d'une double série d'attachements, se contrôlant mutuellement vérifiés et coordonnés chaque soir (*).

(*) M. Frœnell, Ingénieur civil de l'Ecole Polytechnique de Stockholm, était uniquement chargé de ce travail, dont il s'est acquitté avec un zèle et une intelligence au-dessus de tout éloge.

RENSEIGNEMENTS STATISTIQU

DÉSIGNATIONS des FONDATIONS.	Surface des massifs.	Profondeur en contre-bas de l'étiage.	Pressions maxima indiquées au manomètre pendant le fonçage (en mètres d'eau).	Nombre de portes.	DURÉE DU FONÇAGE — Nombre total de jours du commencement à la fin du fonçage (chômages compris).	DURÉE DU FONÇAGE — Nombre d'heures de travail effectif — dans le gravier.	d'heures de travail effectif — dans la molasse (tuf).	d'heures de travail effectif — Total.	Nombre moyen d'ouvriers employés par poste au fonçage — dans l'air comprimé (tubistes) — dans la chambre de travail (fouille et charge) — dans le gravier.	dans la chambre de travail — dans la molasse.	dans l'air comprimé — Dans les sas mont. des déblais et vidang. hors des sas.	A l'air libre (vidange des écluses).	Encastr… — Dans le gravier.	Encastr… — Dans la molasse (tuf.)
Grand Pont.	mq.	m.	m.										m.	m.
Culée rive droite.	90 38	8 36	14 98	4	31	279	349	628	7 3	9	6	2	4 64	3 [illegible]
Pile n° 1.....	74 027	9 00	14 46	4	34	323	420	743	7	8 4	6	2 2	6 79	3 [illegible]
— n° 2.....	74 027	8 18	13 95	4	33	216	395	611	7	8 4	6	2 1	5 25	4 [illegible]
— n° 3.....	74 027	8 96	15 50	4	233	100	596	696	6 7	7 9	5 9	2 2	2 64	4 [illegible]
— n° 4.....	74 027	9 04	14 98	4	21	»	387	387	»	9	6	2	»	4 [illegible]
Culée rive gauche.	90 38	7 92	14 46	4	79	245 5	403 5	649	7 8	9 2	6	2 1	5 20	4 [illegible]
Viaduc de Canabéra.														
Pile n° 1.....	45 17	6 49	11 36	4	32	180	108	288	7	8 4	6	2	6 13	2 [illegible]
— n° 2.....	45 17	6 72	10 33	4	37	216	84	300	6 7	8 8	6	2	7 14	2 [illegible]
— n° 3.....	45 17	6 38	10 85	4	33	156	111	267	6 9	8 2	5 8	1 9	6 48	1 [illegible]
— n° 4.....	45 17	7 08	12 40	4	49	181	134	315	6 7	8 8	6	2	6 54	2 [illegible]
— n° 5.....	45 17	7 06	11 87	4	40	162	184	346	6 7	9 3	5 9	2	6 35	3 [illegible]
— n° 6.....	45 17	7 01	11 36	4	42	169	202	371	6 75	8 1	5 8	1 9	5 47	3 [illegible]
— n° 7.....	45 17	7 10	11 36	4	43	164	184	348	6 9	8 7	5 9	2	6 01	3 [illegible]
— n° 8.....	45 17	6 71	11 36	4	46	227	176	403	6 6	7 7	6	2	6 55	3 [illegible]
— n° 9.....	45 17	7 11	12 40	4	53	190	251	441	7 4	7 2	5 9	1 9	6 47	3 [illegible]
— n° 10.....	45 17	7 32	16 53	4	41	183	314	497	6 4	8	5 7	2	5 88	4 [illegible]
— n° 11.....	45 17	7 04	9 81	4	67	198	197	395	6 6	8 4	6	2	6 72	3 [illegible]
— n° 12.....	45 17	7 00	12 40	4	74	210	175	385	6 9	8	5 9	2	6 73	3 [illegible]
— n° 13.....	45 99	7 00	10 85	2	33	264	257	521	3 3	4 3	3	1	5 40	3 [illegible]
— n° 14.....	45 99	6 64	14 46	2	27	228	292	520	3 2	4	3	1	3 90	4 [illegible]
— n° 15.....	45 99	6 64	21 00	2	25	226	342	568	3 5	5 8	3	1	4 13	4 [illegible]
Culée Casteljaloux	68 63	5 40	10 85	1	74	963	590	1 553	2 9	4	3	»	6 54	2 [illegible]

Nota. — Les divergences entre le tableau ci-dessus et la planche 3 pour les valeurs de l'encastr tandis que dans la planche 3 on a porté celui du dessous du béton de remplissage, lequel en a [illegible]

…MARCHE DES TRAVAUX.

Hauteur moyenne d'élévation des déblais.			Cube déblayé par heure de travail effectif (mesuré au déblai.)			Rapport du cube déblayé foisonné au cube déplacé par le caisson.			DURÉE EN JOURS D'EXÉCUTION de chaque fondation (du commencement du montage à la fin du travail).								
										Maçonnerie, fonçage.			Remplissage en béton.			Durée totale du travail.	
Dans le gravier.	Dans la molasse (tuf).	Sans tenir compte de la nature des déblais.	Dans le gravier.	Dans la molasse (tuf).	Sans tenir compte de la nature des déblais.	Dans le gravier.	Dans la molasse (tuf).	Sans tenir compte de la nature des déblais.	Montage.	Maçonnerie seule.	Maçonnerie et fonçage.	Fonçage seul.	Dans la chambre de travail (air comprimé).	Des puisards, des cheminées (air libre).	Arrêts.	Arrêts compris.	Arrêts non compris.
m.	m.	m.	m.	m.	m.												
9 00	12 70	10 90	1 503	1 015	1 232	»	»	»	29	13	17	13	2	2	159	235	76
9 20	13 00	10 50	1 569	0 644	1 036	1 32	1 91	1 53	17	14	13	20	2	1	18	85	67
7 70	11 70	9 50	1 799	0 784	1 140	1 15	1 81	1 45	16	9	13	18	2	1	18	77	59
9 70	12 60	11 70	1 954	0 617	0 814	1 06	2 11	1 75	16	16	14	16	2	1	220	285	65
»	12 50	12 50	»	0 859	0 859	»	1 74	1 74	20	9	13	4	2	1	34	83	49
8 86	12 80	10 66	1 907	0 922	1 302	1 21	80	1 45	17	31	16	15	2	1	43	125	82
10 00	12 10	10 60	1 541	0 841	1 275	1 19	2 03	1 40	9	27	»	13	2	»	»	»	»
9 50	13 00	10 30	1 492	1 112	1 388	1 29	1 68	1 38	12	39	»	13	2	1	74	141	67
8 70	12 90	9 70	1 898	0 818	1 433	1 17	1 55	1 26	15	39	»	14	2	1	107	178	71
9 50	12 00	10 20	1 636	0 908	1 324	1 20	1 98	1 43	11	26	»	16	1	1	88	143	55
8 80	12 00	9 90	1 785	0 877	1 293	1 12	2 17	1 48	6	34	»	16	2	1	82	141	59
8 30	12 00	9 60	1 455	0 863	1 135	1 26	1 95	1 54	7	34	»	16	2	1	85	145	60
8 30	12 00	9 70	1 636	0 877	1 261	1 25	1 60	1 37	8	32	»	16	2	1	57	116	59
8 90	12 00	10 00	1 667	0 683	1 121	1 17	2 03	1 46	6	33	»	18	2	1	90	150	60
9 00	12 00	10 00	1 536	0 664	1 039	1 16	2 00	1 47	12	33	»	20	6	1	121	193	72
9 10	12 00	10 30	1 445	0 591	0 908	1 37	2 27	1 74	7	35	»	23	2	2	133	202	69
8 50	12 00	9 70	1 533	0 796	1 165	1 28	2 00	1 52	6	36	»	19	2	1	126	190	64
9 50	12 00	10 30	1 448	0 810	1 158	1 26	1 72	1 41	4	35	»	17	2	1	82	141	59
10 00	11 10	10 70	0 940	0 537	0 739	»	»	»	16	23	14	19	2	1	18	97	75
10 10	11 20	10 80	0 784	0 644	0 700	»	»	»	12	32	7	18	2	1	39	99	60
10 10	11 20	10 70	0 838	0 546	0 662	»	»	»	17	18	19	9	2	1	29	95	66
8 90	11 80	9 60	0 460	0 243	0 381	»	»	»	24	45	25	44	4	1	107	250	143

…proviennent de ce que dans le tableau on a pris l'encastrement du tranchant à la fin du fonçage, …quelques centimètres en plus ou en moins.

Les indications relatives aux durées d'exécution ont été résumées dans le graphique (Pl. 7), dans lequel la ligne supérieure est celle du dessus des maçonneries, et l'inférieure celle du tranchant : il donne pour chaque massif la charge, la sous-pression, la surcharge, la vitesse d'enfoncement et de remplissage. On remarquera que la descente dans le gravier donne une courbe continue, tandis que le fonçage dans le tuf est représenté par un escalier dont chaque marche répond aux descentes obtenues par abaissement de la sous-pression.

CHAPITRE V.

PRIX DE REVIENT.

Comme les données du chapitre précédent, les prix portés aux tableaux ci-après résultent d'attachements pris pendant toute la durée d'exécution des travaux, sans qu'aucun d'eux ait été déduit ou modifié par comparaison avec les autres : ils ont tous fait l'objet d'une double série d'attachements, se contrôlant mutuellement et vérifiés chaque jour, et méritent toute confiance.

TABLEAUX DONNANT LE DÉTAIL DES PRIX DE REVIENT.

Tableau A. — Décomposition du prix du mètre cube de déblai et de béton de remplissage, exécuté dans l'air comprimé. — Prix de l'heure de fourniture d'air.

PRIX DE REVIENT DES TRAVAUX.

(Fers, maçonneries et fonçages, non compris frais généraux, matériel et installations.)

Tableau B. — Fondations du grand pont sur caissons métalliques avec hausses.

Tableau C. — Fondations du viaduc sur caissons métalliques sans hausses.

Tableau D. — Fondations du viaduc sur rouets.

Tableau E. — PRIX DE REVIENT RÉSULTANT DU MÈTRE CUBE EN FONDATION (tout compris).

e non compris frais généraux, r

LLIQUES ET HAUSSES.

TABLEAU B.

PILE N° 2. ...essous ...ge { 599mc,62.			PILE N° 3 Cube au-dessous de l'étiage { 67...			CULÉE RIVE GAUCHE. Cube au-dessous de l'étiage { 720mc,72.			
Prix de l'unité.	Dépenses Totales.	Dépenses Par mètre cube.	Quantités.	Prix de l'unité.	Tot...	...antités.	Prix de l'unité.	Dépenses Totales.	Dépenses Par mètre cube.
fr. c.	fr. c.	fr. c.	kil.	fr. c.		kil.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
...0 47	8 834 12		18 796 00	0 47	8 8...	...600 00	0 47	10 152 00	
...0 47	3 516 54		8 640 00	0 47	4 0...	...088 00	0 47	5 211 36	
. . .	12 350 66	20 598	. . . . .	. . . .	12 8...	. . .	. . . .	15 363 36	21 316
			mc.			mc.			
...3 20	226 38		3 582	62 15	2...	4 50	62 038	279 17	
...00	571 09		21 965	27 76	6...	...28 00	24 097	674 72	
...08	2 955 14		132 110	22 56	2 9...	...48 00	20 401	3 019 28	
...50	576 45		36 000	13 43	4...	...62 00	11 954	741 28	
...657	7 482 04		448 690	21 65	9 7...	...64 33	19 157	8 895 17	
...700	1 012 37		13 553	91 96	1 2...	»	»	»	
...62	212 02		17 000	12 26	2...	...13 89	11 737	163 03	
»	»		»	»	2...	»	»	»	
. . .	13 035 49	21 739	. . . . .	. . . .	15 67...	. . . .	. . . .	13 772 65	19 11
	1 458 36				1 6...			1 532 80	
	5 317 50				5 74...			5 665 96	
	387 60				3...			773 70	
	7 163 46	11 95			7 37...			7 972 46	11 061
	174 30				15...			200 00	
	140 00							»	
	»				11...			»	
	»				9...			»	
	»							»	
	35 00							180 00	
	349 30	0 582			35...			380 00	0 527
	32 898 91	54 869			36 29...			37 488 47	52 014

…e non compris frais généraux, …

…LLIQUES ET HAUSSES.

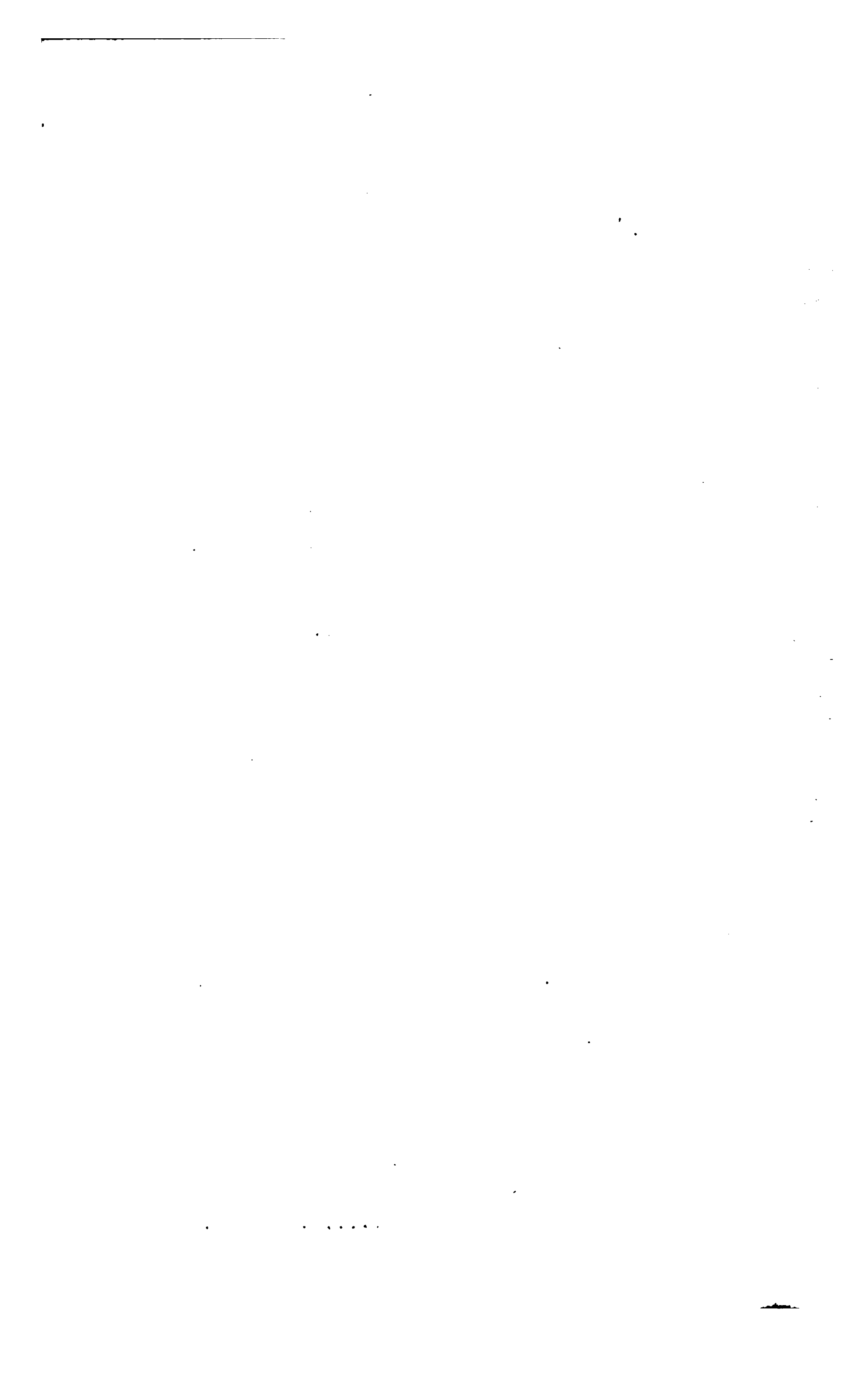
TABLEAU B.

PILE N° 2. …essous …ge { 599mc,62.			PILE N° 3 (…). Cube au-dessous de l'étiage { 67…			CULÉE RIVE GAUCHE. Cube au-dessous de l'étiage { 720mc,72.			
Prix de l'unité.	Dépenses Totales.	Dépenses Par mètre cube.	Quantités.	Prix de l'unité.	Tot…	Quantités.	Prix de l'unité.	Dépenses Totales.	Dépenses Par mètre cube.
fr. c.	fr. c.	fr. c.	kil.	fr. c.		kil.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
…0 47	8 834 12		18 796 00	0 47	8 8…	…600 00	0 47	10 152 00	
…0 47	3 516 54		8 640 00	0 47	4 0…	…088 00	0 47	5 211 36	
. . .	12 350 66	20 598	. . . . . .	. . . .	12 8…	. . . .	. . . .	15 363 36	21.316
			mc.			mc.			
…20	226 38		3 582	62 15	2…	4 50	62 038	279 17	
…00	571 09		21 965	27 76	6…	28 00	24 097	674 72	
…08	2 955 14		132 110	22 56	2 9…	…48 00	20 401	3 019 28	
…50	576 45		36 000	13 43	4…	…62 00	11 954	741 28	
…657	7 482 04		448 690	21 65	9 7…	…64 33	19 157	8 895 17	
…700	1 012 37		13 553	91 96	1 …	»	»	»	
…62	212 02		17 000	12 26	2…	13 89	11 737	163 03	
»	»		»	»	2…	»	»	»	
. . .	13 035 49	21 739	. . . . . .	. . . .	15 6…	. . . .	. . . .	13 772 65	19 11
	1 458 36				1 6…			1 532 80	
	5 317 50				5 7…			5 665 96	
	387 60							773 70	
	7 163 46	11 95			7 3…			7 972 46	11 061
	174 30				1…			200 00	
	140 00				1…			»	
	»							»	
	»							»	
	»							»	
	35 00							180 00	
	349 30	0 582			3…			380 00	0 527
	32 898 91	54 869			36 2…			37 488 47	52 014

(*Fers*,

ÉRA. TABLEAU C

PILE Nº 10 (…be au-dessous de l'étiage: 329mc,60.)				PILE Nº 11 (Cube au-dessus de l'étiage: 318mc,00.)				PILE Nº 12 (Cube au-dessus de l'étiage: 316mc,21.)			
…tités.	Pr… de l'unit.	Dépenses Totales.	Dépenses Par mètre cube.	Quantités.	Prix de l'unité.	Dépenses Totales.	Dépenses Par mètre cube.	Quantités.	Prix de l'unité.	Dépenses Totales.	Dépenses Par mètre cube.
…il.	fr. …	fr. c.	fr. c.	kil.	fr. c.	f. c.	fr. c.	kil.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
…40 00	0 …	5 940 80		12 640 00	0 47	5 940 80		12 640 00	0 47	5 940 80	
»	»	»		»	»	»		»	»	»	
. . .	. .	5 940 80	18 02	. . . .	. . . .	5 940 80	18 68	. . . .	. . . .	5 940 80	18 79
mc.				mc.				mc.			
3 00	55 …	172 48		3 00	55 88	167 66		3 00	69 31	207 64	
…7 00	20 …	373 86		17 00	21 95	373 36		17 00	19 49	331 36	
…2 00	21 …	1 723 20		72 90	21 82	1 591 12		73 50	22 78	1 664 90	
…9 00	11 …	233 70		19 00	11 13	211 40		19 00	11 66	221 60	
…0 96	22 …	3 992 65		191 80	21 09	4 045 06		190 10	21 49	4 085 25	
»	»	»		»	»	»		»	»	»	
…6 00	12 …	173 34		14 30	11 67	166 88		13 14	13 81	181 46	
…9 36	3 …6	390 57		116 72	3 346	390 57		116 72	3 346	390 57	
»	»	277 23		»	»	228 10		»	»	245 80	
»	»	»		»	»	»		»	»	»	
. . . .	.	7 337 03	22 26	. . . .	. . . .	7 174 15	22 56	. . . .	. . . .	7 328 58	23 176
		1 235 30				1 086 90				949 00	
		3 864 00				3 176 10				3 013 10	
		636 10				660 30				623 50	
		5 735 40	17 40			4 923 30	15 48			4 585 60	14 50
		254 57				290 42				221 39	
		»				»				»	
		100 00				90 00				90 00	
		354 57	1 07			380 42	1 19			311 39	0 984
		19 367 80	58 75			18 418 67	57 91			18 166 37	57 45



PRIX DE REVIENT DES TRAVAUX (fers, maçonneries
VIADUC DE CANABÉRA. — CHAMBRES DE TRAVAIL

	PILE N° 13 — Cube au-dessous de l'étiage 322mc,00			
	Quantités.	Prix de l'unité.	Dépenses — Totales.	Dépenses — Par mètre cube.
A. — *Fers.*	kil.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
Rouet-tirants et amorce de cheminée.	4 515 00	0 47	2 122 05	
Total pour le titre A. . .	. . . . . .	. . . .	2 122 05	6 59
A' — *Bois.*				
Chêne pour les trois couronnes boulonnées sur le rouet (y compris calfatage et goudronnage)..	mc. 2 38	179 83	428 00	
Cintre.	1 50	55 00	82 50	
Total pour le titre A'. . .	. . . . . .	. . . .	510 50	1 58
B. — *Maçonneries.*				
1° A l'air comprimé : Remplissage en béton de ciment de Portland.	60 00	20 94	1 256 50	
2° A l'air libre : Briques (à Portland).	41 20	56 71	2 309 00	
Maçonnerie en voûte (à Portland). . . . . ; Maçonnerie ordinaire à Portland.	55 00	31 50	1 732 72	
Maçonnerie ordinaire à chaux du Teil	155 00	21 78	3 375 90	
Remplissage de la cheminée (béton de chaux du Teil).	8 00	12 00	96 00	
Enduit de ciment dans la chambre de travail au-dessus des briques.	»	»	34 20	
Enduit de ciment Sur la surface extérieure.	»	»	185 20	
Coulis de ciment de Portland.	»	»	124 00	
Total pour le titre B.			9 113 52	28 30
C. — *Fonçage à l'air comprimé.*				
a. — Fourniture de l'air (combustible, marche et entretien des machines). . .			1 144 80	
b. — Extraction (extraction proprement dite, montage et transport hors des sas)			2 393 75	
c. — Transport et régalage.			478 30	
Total pour le titre C.			4 016 85	12 47
D. — *Dépenses diverses.*				
Déblai à l'air libre.			230 40	
Montage, démontage des écluses, montage des viroles.			50 00	
Enlèvement des cheminées des sas et des échafaudages à cet effet, surcharge de moellons.			40 00	
Nettoyage des maçonneries.			»	
Arrosage des sas pendant la forte chaleur.			»	
Total pour le titre D.			320 40	1 00
Totaux.			16 083 32	4995

et fonçage, non compris frais généraux, matériel et installation).

EN MAÇONNERIE DESCENDUES SUR ROUETS. TABLEAU D

PILE Nº 14 — Cube au-dessous de l'étiage 305^{mc},50.				PILE Nº 15 — Cube au-dessous de l'étiage 305^{mc},50.				CULÉE — Cube au-dessous de l'étiage 366^{mc},93.			
Quantités.	Prix de l'unité.	Dépenses Totales.	Dépenses Par mètre cube.	Quantités.	Prix de l'unité.	Dépenses Totales.	Dépenses Par mètre cube.	Quantités.	Prix de l'unité.	Dépenses Totales.	Dépenses Par mètre cube.
kil.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	kil.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	kil.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
4 515 00	0 47	2 122 05		4 515 00	0 47	2 122 05		10 222 00	0 47	4 804 34	
....	....	2 122 05	6 95	....	....	2 122 05	6 95	....	....	4 804 34	13 09
mc.				mc.				mc.			
2 38	163 07	400 00		2 38	163 86	390 00		2 95	224 07	661 00	
1 50	55 00	82 50		1 50	55 00	82 50		5 45	62 86	342 30	
....	....	482 50	1 58	....	....	472 50	1 55	....	....	1 003 30	2 73
61 00	19 22	1 172 60		61 10	17 30	1 056 80		112 00	25 00	2 800 00	
41 20	55 91	2 303 46		41 20	56 58	2 331 00		58 50	54 40	3 182 50	
66 00	30 11	1 987 50		53 00	31 66	1 678 00		17 00	66 00	1 122 06	
								10 30	33 23	342 27	
135 20	20 93	2 829 69		148 20	21 39	3 170 00		80 02	24 66	1 973 93	
2 10	13 50	28 35		2 00	13 40	26 80		2 00	11 35	22 70	
»	»	85 70		»	»	41 50		84 20	28 23	2 376 97	
»	»	229 00		»	»	273 00		308 83	3 346	1 033 41	
»	»	120 50		»	»	97 00		»	»	215 11	
....	....	8 756 80	28 66	....	....	8 674 10	28 39	....	....	13 068 95	35 62
		1 055 00				1 085 90				2 930 90	
		2 263 70				2 669 10				5 179 42	
		451 80				506 40				456 30	
		3 770 50	12 34			4 261 40	13 95			8 566 62	23 34
		354 00				204 40				120 00	
		50 00				50 00					
		50 00				60 00				160 00	
		»				»				45 00	
		»				»				50 00	
		454 00	1 49			314 40	1 02			375 00	1 02
		15 585 85	51 02			15 844 45	51 86			27 818 21	75 80

PRIX DE REVIENT RÉSULTANT DU MÈTRE CUBE DE MASSIF DE FONDATION EN CONTRE-BAS DE L'ÉTIAGE (*tout compris*).

TABLEAU E.

DÉSIGNATION DES FONDATIONS.	DIMENSIONS DES MASSIFS DE FONDATION. surface.	hauteur en contrebas de l'étiage.	cube.	MATÉRIEL installations et frais généraux.	TRAVAUX fers.	bois (rouet et cintre.)	maçonneries.	fonçages. (*a*)	dépenses diverses.	ensemble pour les travaux.	TOTAL par MÈTRE cube.	OBSERVATIONS.
Grand Pont.	mq.	m. c.	mc.	fr. c.	fr. c.		fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	
Culée (rive droite)	90,38	8,36	755,60	11,35	20,33	»	20,18	9,94	0,93	51,38	62,73	(*a*) On ne perdra pas de vue que les chiffres du tableau ci-contre sont rapportés au cube au-dessous de l'étiage, bien que le fonçage à l'air comprimé ait commencé en moyenne à 2m,80 au-dessus de l'étiage : c'est ainsi que le chiffre porté ici pour le fonçage est sensiblement supérieur au prix réel, donné ailleurs, du mètre cube déblayé à l'air comprimé.
Pile n° 1	74,027	9,00	666,40	14,55	19,443	»	20.60	13,02	0,52	53,58	68,13	
— 2	74,027	8,18	599,62	14,79	20,598	»	21,74	11,95	0,58	54,87	69,66	
— 3	74,027	8,96	672,90	19,88	19.163	»	23,29	10,97	0,52	53,94	73,82	
— 4	74,027	9,04	669,20	15,75	19.330	»	22,81	6,36	0,37	48,87	64,62	
Culée (rive gauche)	90,38	7,92	720,72	11,22	21,316	»	19,11	11,06	0,52	52,01	63.23	
Viaduc de Canabéra.							(*b*)					(*b*) Y compris la réparation d'un accident
Pile n° 1	45,17	6,49	293,15	11,85	20,265	»	37,38	11,80	0,92	70,36	82,21	
— 2	45,17	6,72	303,54	11,83	19,572	»	18,42	11,27	0,89	50,15	61,98	
— 3	45,17	6,38	285,82	11,87	20,785	»	20,01	10,91	0,98	52,68	64,55	
— 4	45,17	7,08	319,68	11,80	18,583	»	20.50	12,55	0,84	52,47	64,27	
— 5	45,17	7,06	317,96	11,80	18.684	»	21,99	12,72	0,91	54,30	66,10	
— 6	45.17	7,01	316,20	11,80	18,788	»	23,32	13,23	0,85	56,19	67,99	
— 7	45,17	7,10	320,00	11.80	18,565	»	20,69	11,99	0,87	52,12	63,92	
— 8	45,17	6,71	303,09	11,83	19,60	»	22,47	15,02	0,80	57,89	69,72	
— 9	45,17	7,11	315,85	11,79	18,84	»	24,96	16,49	0,92	61,21	73,00	
— 10	45,17	7,32	329.60	11,78	18,02	»	22,26	17,40	1,07	58,75	70,53	
— 11	45,17	7,04	318,00	11,80	18,68	»	22,56	15,48	1,19	57,91	69,71	
— 12	45,17	7,00	316,21	11,80	18,79	»	23,18	14,50	0,98	57,45	69,25	
— 13	45,99	7,00	322.00	11,80	6,59	1,59	28,30	12,47	1,00	49,95	61,75	
14	45,99	6,64	305,50	11,97	6,95	1,58	28,66	12,34	1,49	51,02	62,99	Fondations descendues sur rouet.
— 15	45,99	6,64	305,50	11,97	6,95	1,55	28,39	13,95	1,02	51,86	63,83	
Culée Casteljaloux	68,63	5,35	366,93	11,59	13.09	2,73	32,22	23,34	1,02	72,40	83,99	

CHAPITRE VI.

RÉSUMÉ.

Travaux. — Éléments du prix de revient d'une fondation à l'air comprimé.

A. — *Travaux.*

Nous résumons ci-après les principaux faits d'observations cités dans ce mémoire :

Poids des fers. — Le poids d'une chambre de travail du type ordinaire des caissons métalliques, compté depuis le tranchant jusqu'au niveau des ailes supérieures du poutrage pour une hauteur de 2 mètres sous plafond est très approximativement donné par la formule :

$$280\,P + 130\,S,$$

dans laquelle P désigne le périmètre et S la surface du massif (voir les métrés du chapitre II et les exemples cités dans la note C).

Le poids moyen à compter par mètre carré de paroi au-dessus du caisson, pour hausses et contreventement des hausses est de 34 kilogrammes.

Pour les fondations sur rouets, le poids du fer n'est fonction que du périmètre P, et est donné par les formules suivantes (ponts de Hohnsdorf et de Marmande).

$575^k + 150\,P$, pour fondation circulaire ou elliptique.

$2\,700^k + 227\,P$, pour fondation rectangulaire, nécessitant l'entretoisement du cadre.

L'économie de métal a été, à Marmande, par rapport aux caissons sans hausses, de 64 p. 100 pour les piles, de 38 p. 100 pour la culée du viaduc.

Déversements. — On obtient facilement des descentes

verticales dans le sable vaseux, les graviers ou galets. Les déversements sont facilement réparés dans les terrains vaseux, difficilement dans la marne argileuse. Il est utile dans tous les cas de se garder par des ressauts de $0^m,30$ à $0^m,35$ de toute difficulté d'implantation (*).

Suppression des hausses. — On peut en dehors des eaux courantes supprimer les hausses pour fondations sur caissons métalliques, dans les terrains bien homogènes sur toute la hauteur de l'encastrement, sous la réserve des précautions ci-après :

Enduire de ciment toute la hauteur de la paroi ($2^f,30$ le mètre carré).

Dresser la paroi en fruit, et ménager des ressauts.

Accrocher solidement le caisson à la maçonnerie supérieure par des tirants noyés dans la maçonnerie et des arrachements dans la maçonnerie entre les poutres. [Dans les conditions rencontrées à Marmande il n'y a danger de séparation que suivant le niveau supérieur des poutres : il n'existe pour aucune autre section, si on a laissé au mortier le temps de durcir (**).]

Ne jamais faire de descente brusque, ni abaisser la pression au-dessous d'une limite supérieure au poids de la chambre de travail.

Caler les écluses sur la maçonnerie supérieure pour qu'en cas de séparation les cheminées fassent tirants.

Pour les seize fondations du viaduc, l'économie réalisée par la suppression des hausses, a été de :

(*) Avec la précaution de ménager entre le poutrage et la première retraite, une hauteur de maçonnerie d'au moins 2 mètres, pour que le poids du massif soit reporté sur les contre-fiches et ne cisaille pas les poutres.

(**) Voir les observations faites au chapitre IV.

	Suppression des hausses . . .		40 000f,00
à retrancher	réparation de la pile I.	4 700f,00	9 350f,00
	enduit de ciment sur les parois pour 16 fondations	4 650f,00	
	Économie résultante. . . .		30 650f,00

La suppression des hausses n'est pas sans danger, si le massif doit être engagé dans des terrains de résistance différente, surtout si la couche inférieure est étanche.

Remplissage des chambres de travail. — On ne peut guère compter sur le remplissage exact des caissons à plafond plat ; mais le travail sera moins imparfait avec du béton qu'avec de la maçonnerie ; le béton de chaux est plus économique et subit probablement un retrait moindre.

Nous pensons que le mieux serait d'achever le remplissage en briques sur 1 mètre environ.

Dans tous les cas, il sera utilement complété par un coulis de ciment, lequel a coûté en moyenne à Marmande 300 francs par fondation.

Nous croyons qu'il serait possible, pour toute forme de fondation, d'employer un caisson métallique ayant, comme au pont de Dusseldorf, au lieu du plafond plat qui rend le bourrage impossible, un toit conique convergent vers la base de la cheminée ; un rebord horizontal ménagé sur la paroi extérieure à une hauteur convenable soutiendrait les maçonneries de la crinoline, qui serait alors extérieure au caisson.

Avec 2 portes, on a posé par heure de 2,45 mc. à 4,26 mc. de béton
Avec 1 — — 1,14 à 1,80 —

La durée du remplissage a varié :

avec deux portes, de { 34h,5 à 50,0 pour le grand pont; 17,0 à 34,0 pour les piles du viaduc;
avec une porte, de 34,5 à 37,0 — —

Voûtes foncées sur rouet. — Les chambres de travail

avec voûtes en briques foncées sur rouet ont donné, comme à Hohnsdorf, d'excellents résultats. La grande voûte en arc de cloître de la culée établie sur plan rectangle de 6 mètres sur 11^{m},35, a été encastrée de 8^{m},63 avec des descentes brusques qui ont atteint 0^{m},60, sans déformation, fissure ou fuite d'air. Il semble désormais acquis que le système de Hohnsdorf s'applique à une forme quelconque de fondation.

Il ne présente aucun des deux graves inconvénients des fondations sur caissons, bourrage insuffisant, séparation horizontale du massif par le plafond de la chambre. La fondation est homogène sur toute sa hauteur (et permet de supprimer les hausses sans danger); un remplissage imparfait y laisse seulement au centre du massif un petit vide sans danger pour l'ensemble. Le poids du métal est sensiblement moindre dans les massifs foncés sur rouet que sur caisson : un tiers au plus dans les fondations sur plan convexe.

Des massifs foncés sur rouet ont été encastrés à Hohnsdorf de 10^{m},49 à 11^{m},25 ; à Marmande, de 8 mètres à 8^{m},63 (gravier et tuf).

Au point de vue du prix de revient, l'expérience de Marmande est concluante.

Bien que le 1 000 de briques doubles (22/11/5,5), coûtât 55 francs, et qu'on n'eût pas l'expérience de ce travail, les trois piles (13, 14 et 15) sont revenues à 61^{f},75 — 62^{f},99 — 63^{f},83 le mètre cube : leurs voisines foncées sur caissons (10, 11, 12) à 70^{f},53 — 69^{f},71 — 69^{f},25.

A la culée, il y avait deux fois plus de fer. On a fait beaucoup de fausses manœuvres, et l'emploi d'un seul sas à porte unique a augmenté de 10 francs le prix du déblai, et porté le prix total à 83^{f},99 : on l'eût facilement réduit à 70 francs.

Dans les cas où le choix est douteux entre l'emploi des épuisements et celui de l'air comprimé, le système de Hohns-

dorf permettrait l'application successive de chacun d'eux : on commencerait le havage par dragage ou épuisement, comme aux docks de Bordeaux, et on n'emploierait l'air comprimé qu'au moment précis où il devient nécessaire : la même locomobile actionnerait successivement une pompe et un compresseur.

En résumé le système de Hohnsdorf, est meilleur et plus économique (sauf pour les fondations sur plan rectangle) ; nous n'hésiterons jamais à en proposer l'application, sauf pour les fondations en rivière à grande profondeur d'eau, en raison des charges excessives sur les vérins.

Frottements sur le terrain traversé. — A Marmande, la limite supérieure du frottement de la maçonnerie sur le gravier a varié par mètre carré de 5 220 à 2 350 kilogrammes; celle du coefficient de frottement de 1 072 à 353.

D'après les observations de M. Schmoll d'Eisenwerth, à quatre ponts du Danube, citées au chapitre IV, le frottement par mètre carré de hausses dans le gravier et sable a été dans l'un de 2 233 kilogrammes, et a varié dans les trois autres de 1 274 à 3 879 — de 1 743 à 2 636 — de 1 866 à 2 766 : il varie avec la forme de la section et diminue avec la profondeur.

Nous croyons que dans les sables, graviers et galets, sauf des cas exceptionnels, il suffira de calculer la charge en vue d'un frottement par mètre carré de 4 000 kilogrammes pour les massifs sans hausses, de 3 000 kilogrammes pour les autres.

Matériel. — La note B jointe au mémoire donne, suivant la surface et la profondeur, le matériel nécessaire, le volume d'air à fournir et le travail à dépenser pour mettre à sec une chambre de travail, en un temps donné.

Pour l'entretien de la pression pendant le fonçage, les chiffres de Marmande sont peu concluants, à cause de l'étanchéité du tuf; le travail des machines n'a pas dépassé

$12^{ch},4$ pour un caisson de $90^{mq},38$ foncé à 8 mètres, et l'aspiration par heure $443^{mc},84$.

D'après des observations de M. Schmoll d'Eisenwerth, à quatre ponts (*), la perte d'air pendant le fonçage, par heure de travail et par mètre carré de paroi verticale, a été en moyenne, dans la tourbe argileuse, la vase argileuse, l'argile, de $3^{mc},985$ pour une profondeur moyenne de $7^{m},18$, dans le sable et graviers de $4^{mc},373$ pour une profondeur moyenne de $6^{m},85$.

Maladies. — Sur 185 tubistes occupés en 313 jours, pour un cube de 7 426 mètres cubes à des pressions de 9 à 12 mètres, il y a eu 164 cas de maladies, dont 10 seulement, sans gravité d'ailleurs, résultent sûrement de l'action de l'air comprimé.

Durée du fonçage. — On trouvera dans le tableau à la fin du chapitre IV, dans le graphique (Pl. 7) tous les renseignements sur la vitesse du fonçage, le cube déblayé par heure, la durée d'exécution de chaque fondation. Elle a été en moyenne à Marmande (arrêts compris du commencement du montage à la fin du fonçage) de trois mois pour les fondations du grand pont, de cinq mois et demi pour celles du viaduc foncées sans hausses (en raison du temps nécessaire à la prise des mortiers).

B. — *Éléments du prix de revient d'une fondation à l'air comprimé*

a. — *Partie métallique.* — On trouvera plus haut le poids d'une chambre de travail, des hausses et des rouets : le kilogramme en place coûte de $0^{f},45$ à $0^{f},50$.

Le prix du mètre cube de chêne pour couronne des rouets a été, à Marmande, de 184 francs.

(*) « Voir : Zeitschrift des Osterr-Ing. Vereins 1877. »

b. — *Fonçage*. — (Voir pour détails le premier tableau du chapitre v.)

A Marmande, mettant de côté la culée Casteljaloux foncée avec un sas à une porte, le prix du mètre cube déblayé à l'air comprimé (fouille, transport hors des écluses et fourniture d'air) a varié, sauf cas spéciaux, de 6 francs à 8 francs dans le gravier, pour une élévation moyenne de $8^m,60$.

De 10 francs à 15 francs dans le tuf, pour une élévation moyenne de 12 mètres.

On se rend compte facilemeut que le prix de fouille est à peu près constant, celui d'élévation de déblai croît avec la hauteur, et celui de la fourniture d'air augmente avec le travail à dépenser : soit comme la fonction de la profondeur $(\alpha + h)^{1,2908}$.

Mais les profondeurs ont trop peu varié à Marmande pour permettre d'évaluer pratiquement leur influence sur le prix du déblai.

c. — *Remplissage*. — (Voir pour détails, le premier tableau du chapitre v.)

Le prix du mètre cube de béton pour une composition moyenne en œuvre de 185 kilogrammes de ciment, $0^{mc},347$ de sable et $0^{mc},650$ de gravier (en mettant de côté la pile 9 du viaduc dont le remplissage a été achevé en briques), y compris fourniture et emploi du béton, fourniture d'air, a varié, sauf exception, de 20 francs à 24 francs, dont $2^f,89$ en moyenne pour fourniture d'air, descente et emploi du béton.

Le coulis de ciment a coûté en moyenne 225 francs par fondation.

d. — *Maçonneries*. — (Voir pour détails les tableaux du chapitre v.)

Il n'y a lieu d'appliquer de plus-value qu'aux maçonneries de la crinoline des caissons : elle a été de 6 francs en moyenne à Marmande.

e. — *Frais généraux*. — *Matériel*. — Nous avons

donné dans la note B, jointe à ce mémoire, les renseignements généraux qui permettent, selon la profondeur et la surface de fondation, suivant le nombre de fondations à exécuter en même temps, d'évaluer dans chaque cas les dépenses de matériel : ils se compléteront par les renseignements spéciaux au pont de Marmande donnés au chapitre III.

Connaissant la dépense du matériel neuf, on déterminera facilement, selon la durée présumée du travail, les frais à compter pour intérêt et amortissement (en bloc, on peut admettre 25/100 du prix d'achat si le matériel est neuf, soit 3/16 s'il a servi une fois).

Installations. — C'est un calcul facile à faire dans chaque cas particulier. On en trouvera le détail pour Marmande au chapitre III, et pour d'autres ouvrages dans la statistique de la note D.

Frais généraux proprement dits. — (Personnel, etc.) — Même observation que ci-dessus.

Les frais généraux (matériel, installation, personnel...) rapportés au mètre cube ont varié à Marmande, de $11^f,59$ à $11^f,99$ pour le viaduc, et de $11^f,22$ à $19^f,88$ pour les fondations en rivière : ils dépendent évidemment du cube total à fonder et varient en sens inverse.

Fourniture d'air comprimé par heure. — Ce prix a varié à Marmande de $1^f,88$ à $2^f,78$.

Au cas où le matériel serait loué à l'entreprise, on le bonifierait d'environ 20/100 : soit $3^f,34$ par heure ou 80 francs par jour (pour matériel, personnel, fourniture de charbon, huile, etc.).

Prix de revient résultant du mètre cube fondé à l'air comprimé.

Il a varié à Marmande :

Pour le grand pont (caissons et hausses), de $62^{f},73$ à $73^{f},82$.

Pour le viaduc (hausses supprimées) exceptant la pile 1 et la culée	avec caissons de $63^{f},92$ à 73 fr.
	sur rouet, de $61^{f},75$ à $63^{f},83$.

Il a atteint $82^{f},21$ à la pile 1 du viaduc, en raison d'une dépense de 4 700 francs, pour la réparation d'un accident; et $83^{f},99$ à la culée foncée sur rouet, en raison du type de sas employé (porte unique), qui a augmenté de 10 francs le coût du fonçage.

Dans la note D, jointe à ce mémoire, nous avons donné les surfaces, cubes, prix de revient des fondations, de 82 ouvrages fondés à l'air comprimé depuis 1853.

Toulouse, le 31 mai 1882.

TABLE DES MATIÈRES

ANNEXES.

ANNEXES.

NOTE A.

SONDAGES DE RECONNAISSANCE A L'EMPLACEMENT DU PONT DE MARMANDE. — CONDITIONS DU MARCHÉ. — PRIX DE REVIENT.

Neuf sondages de $0^m,21$ de diamètre, d'une longueur totale de $243^m,05$ furent exécutés à l'emplacement du pont de Marmande, dans le courant de 1879, par la maison Edouard Lippmann et Cie (rue de Chabrol 51 —Paris), aux conditions suivantes :

La maison fournissait en location tous les outils de forage, de curage et de réparation d'accidents courants, les treuils et accessoires, et une chèvre à trois montants au prix de 6 francs par jour, du jour du départ de Paris à celui du retour.

Elle cédait un maître sondeur lequel était payé directement par l'administration, au prix de 6 francs par jour de travail de dix heures, et de $0^f,60$ par chaque heure supplémentaire (étaient considérées comme journées de dix heures et payées 6 francs, celles passées en voyage, les dimanches et fêtes, les jours d'interruption ou de suspension de travail).

Les tubes étaient payés au kilogramme.

En vente à $1^f,40$, pour les tubes perdus ou laissés dans les trous de sonde.

En location, $0^f,30$ pour ceux utilisés dans un seul sondage, — $0^f,40$ pour ceux utilisés dans deux sondages, — $0^f,50$ pour ceux utilisés dans plus de deux sondages.

Les boulons d'assemblage étaient payés 20 francs le 100, et les bâches imperméables louées à raison de 0f,40 par mètre superficiel et par mois.

Demeuraient à la charge de l'administration les frais de transport du matériel et du maître sondeur (en 2e classe), d'installation et d'aménagement de l'atelier, l'entretien et la réparation des outils, la location et la mise en place du bateau pour sondages en rivière.

Nous avons donné dans le chapitre 1er du mémoire les résultats des sondages, au point de vue de la connaissance du sol : nous insisterons seulement sur ce fait que, dans les terrains argileux, les appareils Degousée, qui rendent partout ailleurs de si bons services, ne peuvent que révéler la présence de l'argile, mais renseignent mal sur ses propriétés physiques : la soupape n'apportait que des matières réduites en bouillie par le trépan, et les témoins retirés au découpeur étaient comprimés et déformés par l'outil.

Nous avons résumé dans le tableau ci-après les renseignements statistiques relatifs à vingt-huit sondages d'une longueur totale de 451 mètres exécutés dans la vallée de la Garonne, à l'emplacement des ouvrages des premier et deuxième lots de la ligne de Marmande à Casteljaloux.

Chaque atelier de sondage comportait quatre manœuvres : trois auraient suffi, sauf à la traversée des galets. A l'emplacement désigné pour un sondage, on exécutait, pour faciliter les assemblages, un petit puits blindé, de la hauteur d'un bout de tuyau, recouvert ensuite par le plancher de la chèvre. On employait la tarière dans le sable et le gravier menu, la soupape à boulet dans le sable fin et très sec, à clapet pour le sable dans l'eau, le trépan et la tarière alternativement dans le tuf (*). Dans les galets, seul terrain qui

(*) Voir pour une description détaillée des outils de sondage le « Guide du sondeur », par MM. Degousée et Ch. Laurent, Ingénieurs civils (librairie Garnier, Paris). Voir aussi « Etudes et recherches souterraines par sondages à de faibles profondeurs, » par M. Edouard Lippmann, Ingénieur civil (Paris, librairie La-

ait offert quelques difficultés, on brisait les plus gros au trépan, et on retirait les morceaux à la tarière, après avoir jeté de la glaise dans le trou de sonde pour permettre à l'outil de les saisir.

Les deux sondages en rivière (n°s 8 et 9 du tableau ci-après) ont nécessité une installation spéciale. Le régime torrentiel de la Garonne ne permettait pas, comme on le fait d'ordinaire, d'établir le plancher de manœuvre sur deux bateaux couplés qu'on amarre à la rive, ou à des pieux, le tuyau-guide de la sonde étant placé entre les deux bateaux. Nous avons employé un chaland plat, maintenu par cinq ancres tendues au cabestan, dont trois à l'amont (2 obliques de 300 kilogrammes, 1 droite de 600 kilogrammes) et deux à l'arrière de 200 kilogrammes (Voir Pl. 5, *fig.* 9) (*) : lors de la crue de 6 mètres survenue pendant l'exécution des sondages, il a suffi de lâcher les câbles des ancres. Le plancher de manœuvre était placé sur deux fortes longrines prolongées en encorbellement à l'arrière du bateau équilibré par le lest placé à l'avant : un deuxième plancher établi dans le plan de flottaison faisait, par rapport au premier, l'office du puits blindé par lequel on commence tout sondage. Le tuyau-guide placé très près du bateau pour réduire le porte-à-faux était maintenu à sa base par un lourd collier en fonte attaché à deux amarres servant à le retirer à la fin du travail; on avait d'ailleurs ménagé du jeu dans les planchers autour du tube et dans les colliers sur les deux planchers. Avec ces dispositions, l'exécution des sondages en rivière a été aussi facile que sur la terre ferme.

---

croix), où l'on trouvera de nombreux devis de matériel de sondages, et qui s'appliquent plus spécialement aux sondages qu'ont à exécuter les Ingénieurs.

(*) Ces dessins ont été reproduits dans l'ouvrage précité de M. Lippmann.

Renseignements statistiques relatifs à 28 sondages de 0m,21 de diamètre
sur la ligne de

NUMÉROS des SONDAGES.	ÉPAISSEUR DES COUCHES TRAVERSÉES				AVANCEMENT MOYEN PAR HEURE				NOMBRE D'HEURES	
	terre et sable.	gravier et galets.	tuf.	totale.	dans la terre et le sable.	dans les graviers et galets.	dans le tuf.	moyen.	de travail effectif.	total, y compris arrêts, installation et déplacement.
	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.		
1	7,99	0,66	21,35	30,00	0,30	0,04	0,14	0,156	192	264
2	8,20	2,60	19,20	30,00	0,40	0,05	0,11	0,122	246	318
3	7,00	3,80	20,60	31,40	0,30	0,04	0,11	0,103	302	374
4	4,00	7,40	18,60	30,00	0,30	0,05	0,11	0,094	316	400
5	6,00	4,80	17,20	28,00	0,27	0,05	0,11	0,103	272	336
6	6,20	5,30	16,50	28,00	0,46	0,04	0,12	0,101	276	348
7	5,80	4,50	18,70	29,00	0,29	0,04	0,11	0,101	286	358
en rivière. 8	»	5,00	15,00	20,00	»	0,07	0,11	0,10	204	336
en rivière. 9	»	0,30	16,35	16,65	»	0,08	0,11	0,11	155	191
10	4,50	5,25	7,00	16,75	0,38	0,08	0,13	0,12	131	191
11	4,75	3,75	2,50	11,00	0,34	0,07	0,10	0,11	94	114
12	5,00	4,00	4,60	13,60	0,31	0,04	0,13	0,09	142	212
13	3,75	4,75	»	8,50	0,34	0,10	»	0,14	59	79
14	3,75	4,75	»	8,50	0,29	0,07	»	0,11	76	86
15	2,00	6,90	»	8,90	0,33	0,05	»	0,06	143	183
16	1,80	7,20	»	9,00	0,20	0,07	»	0,08	110	150
17	6,50	2,60	»	9,10	0,26	0,05	»	0,15	61	71
18	1,80	5,60	»	7,40	0,22	0,09	»	0,10	71	81
19	2,40	3,90	0,20	6,50	0,34	0,08	0,10	0,10	58	81
20	3,30	5,20	2,95	11,45	0,24	0,05	0,09	0,08	143	198
21	3,20	5,65	2,00	10,85	0,19	0,05	0,10	0,07	163	180
22	3,00	5,80	1,20	10,00	0,18	0,06	0,08	0,08	131	198
23	5,00	8,40	0,25	13,65	0,11	0,08	0,08	0,09	154	207
24	3,10	5,00	0,90	9,00	0,14	0,08	0,08	0,09	99	155
25	3,10	7,70	1,20	12,00	0,26	0,07	0,09	0,09	127	171
26	7,60	0,40	1,50	9,50	0,09	0,08	0,09	0,09	108	144
27	0,60	»	8,20	8,80	0,09	»	0,08	0,08	111	171
28	4,40	5,65	13,40	23,45	0,31	0,06	0,11	0,09	226	270
Totaux. . .	114,74	126,86	203,40	451,00	7,14	1,69	2,29	2,81	4456	5867
Moyennes.	4,41	4,69	9,51	16,10	0,27	0,062	0,104	0,10	159	209

…eur totale de 451 mètres exécutés, en 1879, dans la vallée de la Garonne …asteljaloux.

…PENSES			
…ETRE COURANT			
… et galets.	dans le tuf.	moyen.	Moyennes par jour de 10 heures (arrêts compris).
… c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
,19	36,31	52,83	37,31
,07	46,48	41,84	39,48
,58	40,67	46,69	35,08
,30	37,87	41,79	35,01
,98	45,10	45,60	35,87
,66	36,72	44,60	35,89
,90	37,61	45,06	34,88
,14	154,96	181,01	107,74
,36	155,85	155,08	135,19
,50	45,99	47,48	41,64
,6…	54,47	48,47	46,77
,17	36,50	53,01	34,06
,12	»	53,67	57,75
,55	»	59,29	49,70
,40	»	68,41	33,27
,81	»	64,33	38,60
,16	»	48.57	62,25
,00	»	69,95	37,31
,50	89,20	79,64	57,52
,00	57,78	65,04	33,85
,00	50,00	75,08	40,73
,50	76,87	80,67	36,67
,12	67,12	60,44	35,98
,12	84,12	74,07	44,44
,14	66,22	65,15	39,87
,75	71,78	73,44	45,60
»	89,33	84,62	39,20
,50	42,82	45,44	35,52
»	»	»	»
,85	64,62	65,65	47,33

OBSERVATIONS.

Les dépenses comprennent :

Les journées des manœuvres et maîtres sondeurs;

La location des appareils, — location ou achat des tubes, — achat des boulons; — les frais de transport des maîtres sondeurs et du matériel, qui ont été répartis sur les différents sondages; — les frais d'installation, de réparation des outils, d'éclairage, de location de bateau.

Les sondages 8 et 9 ont été exécutés en rivière par une hauteur d'eau de 5 à 6 mètres au-dessus de l'étiage. Les frais de location de bateau (marins compris), d'ancres, d'installation, d'éclairage pendant la nuit, ont été de 1 771f,03 au n° 8, de 1 490f,65 au n° 9.

Dans le prix pour « terre et sable » sont comprises les dépenses des puits blindés de 2 mètres sur 2 mètres exécutés à l'emplacement de chaque forage.

Pour les 17 premiers sondages, les frais d'installation, d'entretien et de réparation de matériel d'éclairage (mais non compris la location de bateau et les dépenses spéciales aux 2 sondages en rivière) ont été de 1718 francs, soit 101 francs par sondage.

Les frais de location du matériel ont varié par sondage de 200 à 250 francs.

Pour les tubes et boulons, les frais ont varié de 90 à 140 francs.

Les derniers sondages ont coûté plus cher en raison de leur éloignement de Marmande.

En résumé, on voit qu'en mettant de côté les deux sondages en rivière (8 et 9), dont l'installation a donné lieu à des dépenses exceptionnelles, le prix moyen du mètre courant a été extrêmement variable. Il a varié :

Pour la terre et le sable. .	de	8f,77	à 74f,44
Pour le gravier et galets. .		67 12	118 17
Pour le tuf.		36 31	89 33

L'avancement moyen par heure a varié :

Pour la terre et sable. . . .	de	0m,09	à 0m,50
Pour le gravier et galets. . .		0 04	0 10
Pour le tuf.		0 08	0 14

et le prix moyen de la journée (compris installation, matériel, etc., avec équipe d'un chef sondeur et quatre manœuvres), de 33f,27 à 62f,25.

NOTE B.

TRAVAIL DÉPENSÉ POUR LA COMPRESSION DE L'AIR ET LA MISE A SEC D'UN CAISSON EN UN TEMPS DONNÉ, A L'AIDE DE L'AIR COMPRIMÉ. — COMPARAISON AVEC LE TRAVAIL A DÉPENSER POUR LA VIDANGE D'UNE FOUILLE PAR ÉPUISEMENTS. — DÉPENSES DE MATÉRIEL POUR UNE FONDATION A AIR COMPRIMÉ.

Travail à développer pour comprimer à une pression p, *un poids ou un volume donné d'air.*

Soient :

p la pression dans la chambre de travail,

p_0 la pression initiale (pression atmosphérique) (*).

La profondeur H du tranchant du couteau au-dessous de l'eau extérieure correspondant à la tension p est :

$$H = \frac{p - p_0}{1000} = 10^m{,}33296 \left\{ \frac{p}{p_0} - 1 \right\}.$$

Dans l'hypothèse que pendant la compression l'air ne reçoit ni ne perd de chaleur, le travail à dépenser, pour comprimer à la pression p un kilogramme d'air pris à la température t_0 et à la pression p_0, est donné par les formules suivantes (M. Pernolet, *Air comprimé*, p. 41 et suivantes) :

1° Dans l'hypothèse de la compression à température constante (loi de Mariotte) :

$$T_1 = p_0 V_0 \operatorname{Log\,nep} \frac{V_0}{V} = \frac{10\,332^k{,}96}{1^k{,}2932} \operatorname{Log\,nep} \frac{p}{p_0}.$$

(*) $\frac{p}{p_0}$ est la pression *absolue* en atmosphères ; $\left(\frac{p}{p_0} - 1\right)$ représente la pression dite *effective*.

2° En tenant compte de l'échauffement produit par la compression :

$$T_2 = Ec(a + t_0)\left[\left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{c-c'}{c}} - 1.\right]$$

dans laquelle :

E désigne l'équivalent mécanique de la chaleur = 432 kilogrammètres ;

c — la chaleur spécifique de l'air sec à pression constante = 0,2377 ;

c' — la chaleur spécifique de l'air sec à volume constant $(\frac{c-c'}{c} = 0,2908)$;

t_0 — la température initiale que nous supposerons égale à 20 degrés ;

a — l'inverse du coefficient de dilatation de l'air, ou le zéro absolu, soit 273 degrés ;

Pour le travail de compression d'un mètre cube d'air, les résultats des formules précédentes doivent être multipliés par le poids en kilogrammes du mètre cube à la tension p ; soit par :

$$\frac{p}{p_0} \times \frac{a}{a+t} \times 1^{k},293.$$

On a alors, pour le travail de compression du mètre cube :

1° Dans l'hypothèse de la loi de Mariotte :

$$T_3 = \frac{p}{p_0} \times \frac{a}{a+t} \times 1^{k},293\ T_1 = 22\,168,83\,\frac{p}{p_0}\ \text{log. vulg.}\,\frac{p}{p_0}.$$

2° En tenant compte de la chaleur développée par la compression :

$$T_4 = \frac{p}{p_0} \times \frac{a}{a+t} \times 1^{k},293\ T_2 = 36\,247,16\,\frac{p}{p_0}\left[\left(\frac{p}{p_0}\right)^{0,2908} - 1\right].$$

Ces formules supposent l'air sec ; mais on sait que l'introduction de l'eau dans le compresseur, qui réduit sensi-

blement l'échauffement produit par la compression, n'a pas d'influence notable sur le travail à développer au-dessous de trois atmosphères (M. Pernolet, *Air comprimé*, p. 85).

Le tableau ci-après donne avec les valeurs de T_1 T_2 T_3 T_4 les températures finales de l'air comprimé,

1° Dans le cas de l'air sec, par la formule :

$$t_1 = (a + t_0)\left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{c-c'}{c}} - a.$$

2° Dans le cas de l'air saturé, par les formules données par M. Pernolet (*Air comprimé*, p. 82).

3° — Le travail de frottement de l'eau dans le terrain traversé, à sa sortie du caisson : Θ_3.

1° *Travail de compression de l'air.* — Le travail théorique est VT_4.

Il convient d'augmenter V de 5 p. 100 pour tenir compte des fuites et des pertes de travail dans le compresseur (celle due à l'échauffement de l'air est comprise dans T_4) (*).

On aura donc :

$$\Theta_1 = 1{,}05\, VT_4.$$

Si ce travail doit être produit en une heure, le travail en chevaux par seconde sera :

$$\theta_1 = \frac{\Theta_1}{3600'' \times 75^{\mathrm{kgm}}} = 0{,}00000389\, VT_4.$$

2° *Travail effectué par l'eau en se retirant.* — ϖ étant la densité de l'eau, on a :

$$\Theta_2 = 2\int_0^{H-2} \frac{1}{4}\pi\varpi z dz \text{ (eau des deux cheminées)}$$
$$+ \int_{H-2}^{H} S\varpi z dz \text{ (eau du caisson)}$$
$$= 785{,}4\,(H-2)^2 + 2000\,S\,(H-1).$$

Soit, en chevaux par 1″

$$\theta_2 = \frac{\Theta_2}{3600'' \times 75^{\mathrm{kgm}}} = 0{,}00291\,(H-2)^2 + 0{,}00741\,S\,(H-1).$$

3° *Travail de frottement de l'eau dans le terrain à sa sortie du caisson.* — La résistance opposée par le terrain à la sortie de l'eau du caisson, nulle quand le caisson

(*) On a vu par le tableau précédent que le rapport $\frac{T_3}{T_4}$ varie de 1 pour $\frac{p}{p_0} = 1$ à 0,775 pour $\frac{p}{p_0} = 3$. On se contente ordinairement de faire le calcul du travail avec T_3, c'est-à-dire sans tenir compte du travail perdu par l'échauffement de l'air, et on corrige le résultat en attribuant aux pompes de compression un coefficient de rendement de 75 p. 100.

flotte, devient telle dans un sol peu perméable, que l'eau reste dans la chambre, pour des tensions de l'air très supérieures à celles qui correspondraient à la hauteur de l'eau extérieure. On s'en débarrasse facilement en faisant plonger au fond de la fouille un tuyau communiquant avec l'air extérieur : ce tuyau pouvant fonctionner comme siphon, nous admettrons qu'il débouche à 2 mètres au-dessus de l'eau.

Le travail ainsi dépensé peut être pris comme valeur maximum de Θ_3,

V′ étant le volume occupé par l'eau, on aura :

$$\Theta_3 = \varpi V' 2^{m} = 2000\,(2\,S + 1{,}57\,H);$$

Soit en chevaux par 1″

$$\theta_3 = \frac{\Theta_3}{3600'' \times 75^{kgm}} = 0{,}01483\,S + 0{,}00873\,H.$$

Le tableau ci-après donne le travail à dépenser pour différentes valeurs de S et de H, et le volume d'air W à la pression atmosphérique p_0 à aspirer en une heure par le compresseur. En admettant un rendement de 75 p. 100 pour tenir compte de la dilatation de l'air pendant l'aspiration, de l'imperfection des clapets et des espaces nuisibles, on a :

$$W = \frac{1{,}05\,V \times \frac{p}{p_0}}{0{,}75}.$$

Travail théorique à dépenser et volume d'air à aspirer pour mettre à sec en une heure, pour des profondeurs variant de 2m,10 à 20m,70, une chambre de travail de surface horizontale S pour les 3 valeurs de S, 30mq, 60mq, 90mq, cette chambre étant supposée munie de deux cheminées de 1 mètre de diamètre et de deux sas à double écluse cubant ensemble 12mc,84.

TENSION ABSOLUE DE L'AIR EN ATMOSPHÈRES.	PRESSION EFFECTIVE EN MÈTRES D'EAU.	SURFACE EN PLAN DU CAISSON : 30mq — TRAVAIL EN CHEVAUX À DÉPENSER				Volume d'air en mètres cubes à la pression atmosphérique à aspirer en une heure par le compresseur dans l'hypothèse d'un rendement de 75 p. 100.	60 MÈTRES CARRÉS — TRAVAIL EN CHEVAUX À DÉPENSER				Volume d'air en mètres cubes à la pression atmosphérique à aspirer en une heure par le compresseur dans l'hypothèse d'un rendement de 75 p. 100.	90 MÈTRES CARRÉS — TRAVAIL EN CHEVAUX À DÉPENSER				Volume d'air en mètres cubes à la pression atmosphérique à aspirer en une heure par le compresseur dans l'hypothèse d'un rendement de 75 p. 100.
		pour comprimer l'air.	pour chasser l'eau contenue dans la chambre et les cheminées. — travail effectué par l'eau en se retirant.	pour chasser l'eau contenue dans la chambre et les cheminées. — maximum du travail de frottement de l'eau à sa sortie du caisson.	ensemble.		pour comprimer l'air.	pour chasser l'eau contenue dans la chambre et les cheminées. — travail effectué par l'eau en se retirant.	pour chasser l'eau contenue dans la chambre et les cheminées. — maximum du travail de frottement de l'eau à sa sortie du caisson.	ensemble.		pour comprimer l'air.	pour chasser l'eau contenue dans la chambre et les cheminées. — travail effectué par l'eau en se retirant.	pour chasser l'eau contenue dans la chambre et les cheminées. — maximum du travail de frottement de l'eau à sa sortie du caisson.	ensemble.	
$\frac{p}{p_0}$	H	θ_1	θ_2	θ_3	$\theta_1+\theta_2+\theta_3$	W	θ_1	θ_2	θ_3	$\theta_1+\theta_2+\theta_3$	W	θ_1	θ_2	θ_3	$\theta_1+\theta_2+\theta_3$	W
	m.	ch.	ch.	ch.	ch.	mc.	ch.	ch.	ch.	ch.	mc.	ch.	ch.	ch.	ch	m. c.
1,2	2,1	0,7	0,3	0,4	1,4	122,6	1,2	0,5	0,9	2,6	223,4	1,8	0,8	1,3	3,9	324,2
1,4	4,1	1,5	0,7	0,4	2,6	149,2	2,8	1,5	0,9	5,2	266,5	4,0	2,1	1,3	7,4	384,4
1,6	6,2	2,6	1,2	0,5	4,3	177,8	4,6	2,4	0,9	7,9	312,3	6,6	3,5	1,4	11,5	446,7
1,8	8,3	4,0	1,7	0,5	6,2	208,4	6,8	3,4	1,0	11,2	358,9	9,6	5,2	1,4	16,2	510,8
2,0	10,3	5,4	2,3	0,5	8,2	240,5	9,2	4,4	1,0	14,6	407,7	13,0	6,5	1,4	20,9	574,5
2,2	12,4	7,1	2,9	0,6	10,6	274,7	11,9	5,5	1,0	18,4	458,6	16,7	8,0	1,4	26,1	641,3
2,4	14,4	9,0	3,5	0,6	13,1	310,1	15,0	6,5	1,0	22,5	510,8	20,8	9,5	1,5	31,8	713,1
2,6	16,4	11,1	4,0	0,6	15,7	347,2	18,2	7,5	1,1	26,8	564,6	25,2	11,0	1,5	37,7	784,0
2,8	18,5	13,6	4,7	0,6	18,9	386,9	21,8	8,7	1,1	31,6	620,9	29,7	12,6	1,5	43,8	857,3
3,0	20,7	16,2	5,4	0,7	22,3	429,2	25,8	9,9	1,2	36,9	680,0	35,3	14,4	1,6	51,3	933,2

Travail théorique de vidange d'une fouille par épuisements.

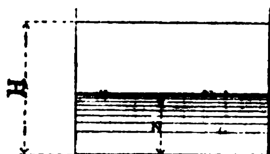
Soient : S la surface d'un massif de fondation.
S′ celle de la fouille.
H la profondeur d'eau dans la fouille.
h la hauteur à laquelle l'eau doit être élevée au-dessus de son ancien niveau.
Π le poids du mètre cube d'eau.
T_1 le travail en kilogrammètres pour l'enlèvement de l'eau contenue dans la fouille.
T_2 le même travail pour celle qui y arrive pendant l'épuisement.
τ le travail total $(T_1 + T_2)$.
θ la durée de l'épuisement.

On a :

$$T_1 = \Pi S' H \left(\frac{H}{2} + h\right).$$

Admettons que le batardeau ou le caisson soient assez étanches pour qu'on n'ait à enlever que l'eau filtrant du fond. En appelant Q ce débit total pendant la durée de l'épuisement θ, on a :

$$T_2 = \Pi Q (H + h).$$



Or la vitesse V avec laquelle l'eau jaillit du fond de la fouille à un instant de l'épuisement correspondant à une charge $H - z$, a pour valeur, en désignant par K un coefficient, fonction de la nature du terrain

$$V = K\sqrt{2g(H-z)}$$

et la vitesse moyenne :

$$W = \frac{1}{H}\int V\,dz = \frac{2K}{3}\sqrt{2gH}.$$

En appelant σ la section contractée des renards, on aura :

$$Q = W\sigma\theta = \frac{2}{3}K\sigma\theta\sqrt{2gH}.$$

$K\sigma$ peut être remplacé par une quantité plus facile à évaluer. Soit θ' le temps que la fouille met à se remplir à partir du fond, quand on arrête les épuisements : on aura à un instant quelconque :

$$K\sigma\sqrt{2g(H-z)}\,d\theta' = S'dz'$$

$$\theta' = \frac{S'}{K\sigma\sqrt{2g}}\int_0^H \frac{dz'}{\sqrt{H-z'}} = \frac{1}{2}\,\frac{S'\sqrt{H}}{K\sigma\sqrt{2g}};$$

d'où :

$$K\sigma\sqrt{2g} = \frac{S'\sqrt{H}}{2\theta'}.$$

Remplaçant dans la valeur de T_2, il vient :

$$T_2 = \frac{\theta}{3\theta'}\,\Pi S'H(H+h),$$

et on a pour expression du travail total τ,

$$\tau = \Pi S'H\left[\frac{H}{2}+h+\frac{\theta}{3\theta'}(H+h)\right].$$

Pour une bonne pompe centrifuge, le rendement est 0,58 (expériences de M. Tresca, *Annales du Conservatoire des Arts et Métiers*) : en supposant $h = 2$, les travaux à développer en chevaux par 1″ seront donc : τ_1 (travail pour l'enlèvement de l'eau de la fouille)

$$= \frac{T_1}{3\,600'' \times 75^{\text{kgm}} \times 0{,}58} = 0{,}00638\ S'H\left(\frac{H}{2}+2\right)$$

τ_2 (travail pour l'enlèvement de l'eau qui arrive pendant l'épuisement, en supposant que la fouille une fois vidée se remplit en quatre heures)

$$= \frac{T_2}{3\,600'' \times 75^{\text{kgm}} \times 0{,}58} = 0{,}00053\,S'H(H+2)$$

et pour le travail total, en chevaux par 1″;

$$T = \frac{1}{100\,000}\,S'[372\,H^2 + 1382\,H] \quad (^*).$$

Le tableau ci-après donne le travail à dépenser dans les

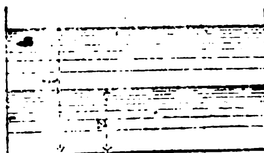
(*) *Calcul du débit* A *de la pompe.*

On se donne facilement une équation entre :

le débit A de la pompe,

la durée θ assignée à l'épuisement,

le temps θ' que met la fouille à se remplir quand on arrête les épuisements.



Quand la hauteur d'eau dans la fouille est réduite de H à z, le débit dq de l'eau qui arrive par le fond a pour valeur, comme on l'a vu plus haut :

$$dq = K\sigma\sqrt{2g(H-z)}\,dt.$$

On a, d'autre part :

$-S'dz$ (quantité dont l'eau descend) $= Adt$ (débit de la pompe) $-dq$ (débit de la fouille).

$$-S'dz = Adt - K\sigma\sqrt{2g(H-z)}\,dt.$$

D'où :

$$= -S'\int_H^0 \frac{dz}{A - K\sigma\sqrt{2g}\sqrt{H-z}} = \frac{S'}{K\sigma\sqrt{2g}}\int_0^H \frac{dz}{\frac{A}{K\sigma\sqrt{2g}} - \sqrt{H-z'}}$$

$$= \frac{2S'}{K\sigma\sqrt{2g}}\left\{\frac{A}{K\sigma\sqrt{2g}}\,L\left(\frac{A}{K\sigma\sqrt{2g}} - \sqrt{H-z'}\right) - \frac{A}{K\sigma\sqrt{2g}} + \sqrt{H-z}\right\}_0^H$$

deux modes de fondation, pour mettre à sec, en une heure, trois surfaces de massifs à des profondeurs variant de $2^m,1$ à $20^m,7$

$$= \frac{2S'}{K\sigma\sqrt{2g}} \left\{ \frac{A}{K\sigma\sqrt{2g}} L \frac{\frac{A}{K\sigma\sqrt{2g}}}{\frac{A}{K\sigma\sqrt{2g}} - \sqrt{H}} - \sqrt{H} \right\}.$$

Remplaçant, comme précédemment, $K\sigma\sqrt{2g}$ par $\frac{S'\sqrt{H}}{2\theta'}$ et effectuant, il vient

$$\theta = 4\theta' \left\{ \frac{2A\theta'}{S'H} L \frac{\frac{2A\theta'}{S'H}}{\frac{2A\theta'}{S'H} - 1} - 1 \right\}.$$

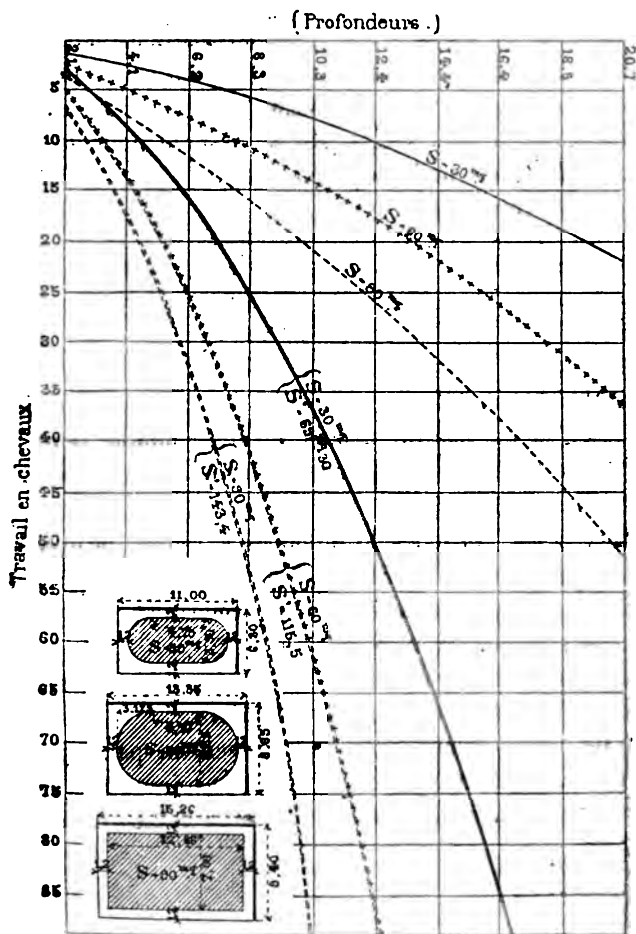
Admettant $\left\{ \begin{array}{l} \theta = 1^h \\ \theta' = 4^h \end{array} \right.$ et posant $\frac{8A}{S'H} = m$, on a :

$$\left(\frac{m}{m-1}\right)^m = e^{\frac{17}{16}}.$$

D'où :

$$m = 8{,}9 \quad \text{et} \quad A = 1{,}1125\ S'H.$$

Travail à dépenser pour mettre à sec en une heure, à l'air comprimé et par épuisements, la fouille correspondant à une surface S de massif de fondation (S' désigne la surface de fouille dans le cas de la fondation par épuisements).



Nota **: Les courbes correspondant aux épuisements sont marquées par un t... double.**

DÉPENSES DE MATÉRIEL POUR FONDATIONS A L'AIR COMPRIMÉ.

A l'aide des formules et des tableaux donnés plus haut, ou des courbes qui les résument, on calculera facilement les dépenses d'achat de matériel pour les deux modes de fondation, les dépenses de charbon pendant le refoulement et pendant l'enfoncement, suivant la surface du massif, la profondeur à atteindre, le temps assigné pour la mise à sec de la fouille ou du caisson, sachant :

Qu'une locomobile :

		francs		kilog.
de 8 à 12 chevaux coûte	. . .	7 250	et pèse	3 900
10 à 15 —	. . .	8 900	—	5 100
12 à 18 —	. . .	10 200	—	6 300
15 à 23 —	. . .	11 800	—	7 800

Que les locomobiles en usage sur les chantiers brûlent par heure et par cheval depuis $3^k,75$ de houille pour les petites machines de 2 à 4 chevaux jusqu'à 2 kilogrammes pour celles de 30 à 45.

Qu'avec les nouvelles locomobiles à retour de flamme, cette consommation se réduit à 2 kilogrammes pour les machines de 10 à 12, à $1^k,80$ pour celles de 15 à 20, à $1^k,70$ pour celles de 20 à 30.

Que les frais de transport de ce matériel varient de $0^f,10$ à $0^f,13$ par tonne et par kilomètre.

Qu'un compresseur (avec refroidissement par injection d'eau pulvérisée du système Colladon) aspirant par heure

44^{mc}	à une vitesse normale de 60 tours	coûte	$2\,000^f,00$
104	—	—	3 000 00
203	—	—	4 000 00
260	—	—	4 200 00
406 (2 cylindres)	—	—	6 000 00

Que les tuyaux en fonte de $0^m,10$ pour conduite d'air coûtent environ 8 francs par mètre courant, pose comprise, et les tubulures en caoutchouc, 30 francs.

Nous avons donné dans le précédent mémoire (chap. III) le prix des sas, cheminées, etc. Pour un caisson de 60 mètres carrés foncé à $10^m,3$, il faudrait, d'après le tableau I de cette note, aspirer $407^{mc},7$ d'air et dépenser une force de $14^{ch},6$; Soit une dépense de matériel de :

	Locomobile de 15 chevaux.	11 800f,00
	1 compresseur de 406 mètres cubes.	6 000 00
Tuyaux	en fonte de 0,10, 100 mètres à 8 fr.	800 00
	en caoutchouc, 10 mètres à 30. . .	300 00
2 sas doubles pesant 4 000 kilogrammes l'un : soit 8 000 kilogrammes à 0f,70.		5 600 00
30m de cheminées à 275 kilogrammes le mètre (à 0f,65).		5 362 50
	En tout.	29 862 50

Soit de 30 000 à 32 000 francs

NOTE C.

POIDS DES CAISSONS MÉTALLIQUES.

Le tableau ci-après donne les poids de 34 types de caissons appartenant à 21 ouvrages fondés à l'air comprimé de 1853 à 1881. Il montre que :

1° Le poids de fer employé a varié de 1859 à 1881 :

Par mètre carré de surface, de 260 kilogrammes (Lorient) à 116 kilogrammes (Marmande).

Par mètre courant de périmètre, de 612 kilogrammes (Lorient) à 263 (Marmande).

Par mètre carré de surface (en rapportant tout le poids à la surface seule), de 845 kilogrammes (Kehl) à 239 kilogrammes (Marmande).

2° Les caissons ayant tous parfaitement résisté à Marmande, et dans des conditions défavorables (puisque pour tous les caissons de la rive gauche, foncés sans hausses, on construisait $4^m,50$ de hauteur de maçonnerie avant de commencer le fonçage ; qu'il n'y avait, par conséquent, pour soulager les poutres, ni sous-pression, ni frottement latéral) on peut accepter en toute confiance la formule :

$$280\,P + 130\,S \qquad (*)$$

pour poids en kilogrammes d'un caisson de surface S, et de périmètre P, y compris les hausses jusqu'au plan supérieur du poutrage.

Le poids de hausses de $0^m,003$ par mètre carré de paroi est de 32 kilogrammes à 35 kilogrammes, contreventement compris.

(*) On remarquera que pour une largeur donnée de voie, le poids par mètre carré décroît avec celle du massif.

3° En ce qui concerne les dimensions des caissons,

a. — La hauteur sous plafond s'est abaissée de $3^m,67$ (Kehl) à 2 mètres, dimension généralement adoptée aujourd'hui (*).

b.—La hauteur des poutres est 1/12 de leur portée, leur espacement, de 1 mètre à $1^m,15$; leur épaisseur, variable avec la portée depuis 5 millimètres pour 4 mètres à 8 millimètres pour $7^m,10$ (on ajoute $0^m,001$ pour celles voisines des cheminées) et celle de la paroi verticale de 6 millimètres en moyenne.

Nous pensons qu'il vaut mieux s'en rapporter simplement aux formules et aux épaisseurs consacrées par la pratique, que d'essayer une détermination théorique des dimensions d'un caisson.

En calculant, comme on le faisait primitivement, la résistance du poutrage comme pour une charge en pierres sèches, même en tenant compte de la sous-pression et du frottement latéral, on arrive à des résultats excessifs.

Si le massif, après la prise des mortiers, c'est-à-dire amené à l'état de monolithe, était posé d'un seul coup sur le poutrage, il porterait seulement sur ses arêtes, ou du moins sur une zone correspondant à la résistance à l'écrasement.

Pratiquement, c'est au début seulement que les poutres en fer travaillent seules, quand la maçonnerie est fraîche et peu épaisse. Mais quand l'épaisseur de la maçonnerie augmente, le métal n'a plus pour effet que de réduire le travail à la tension de la maçonnerie. On s'assurera facile-

---

(*) On est descendu à $1^m,80$, aux ponts de Aussig sur l'Elbe et de Salzbourg sur la Salzach, lequel comportait un caisson de $61^{mq},68$, pesant seulement 287, par mètre carré, qui fut descendu à 9 mètres. Mais le travail était devenu vers la fin fort incommode, les ouvriers ne pouvant travailler debout ; la réduction de la hauteur sous plafond ne paraît à recommander que pour les petites profondeurs. (Voir la brochure déjà citée de M. Gaertner.)

ment que la résistance de la maçonnerie seule ou du fer seul est insuffisante, et que dans le cours du fonçage, l'ensemble travaille comme une poutre hétérogène. Mais on n'a pas fait jusqu'ici d'expériences concluantes pour déterminer le coefficient d'élasticité de la maçonnerie.

DIMENSIONS ET POIDS DE TRENTE-QUATRE TYPES

Saltash et de Dusseldorf). (*Le poids de la chambre de tr*

DATE DE LA CONSTRUCTION.	EMPLACEMENT DES OUVRAGES et DÉSIGNATION DES LIGNES auxquelles ils appartiennent.	RIVIÈRES TRAVERSÉES.	DÉSIGNATION DES FONDATIONS.	DIMENSIONS DE LA CHA			
				Périmètre. P	Surface. S	Rapport du périmètre à la surface. $\frac{P}{S}$	Largeur.
				m.	mq.		m.
1853	*Saltash* Cornwallis-Plymouth.	Tamar	pile..	33,50	89,36	0,37	»
1859	*Kehl* Strasbourg à Bade.	Rhin	pile.. culée	49,00 61,00	122,50 164,50	0,40 0,37	7.00 7.00
1860-61	*La Voulte* Livron à Privas.	Rhône	pile..	29,71	54,63	0,54	5.00
1862	*Lorient* Nantes à Brest.	Scorff	pile.	28,20	39,72	0,71	3.50
1863-64	*Nantes* Nantes à la Roche-sur-Yon.	Loire	pile..	30,20	51,30	0,59	4.40
1865-66	*Arles* Arles à Lunel.	Rhône	pile..	36,00	71,42	0,50	5.10
1866-68	*Dusseldorf.*	Rhin	pile..		52,17		
1867	*Saint-Rambert d'Albon.*	Rhône	pile.. culée	27,30 31.20	48,60 60,20	0,56 0,52	5.00 7.00
1868-69	*Vichy* Route nationale n° 9.	Allier	pile.. culée	25.32 30,48	37,82 58,00	0,67 0,53	3.96 7.34
1869-77	Fondations diverses en Autriche En particulier culées d'un pont à Vienne.				223,60		
1870	*Collonges* Route nationale n° 206.	Rhône	culée	40,80	108,37	0,38	10,00 7,50
1873-74	*Ofen-Pest.*	Danube	pile.. culée		151,00 97,00		
1873-74	*Chamousset* Rectification de la ligne du mont Cenis { grand pont petit pont	Isère	pile.. culée culée		55,96 63,50 62,00		
1874	*Saint-Pierre d'Albigny* Chambéry à Modane.	Isère	pile.. culée	34,06 33,35	55,56 61,70	0,62 0,54	4.00 5.00
1875	*Hocmard* Nantes à Chateaubriant.	ruisseau et marais d'Hocmard	pile..	26,20	46,58	0,56	5,15
1877	*Credo* Collonges à Annemasse.	Rhône	pile..	39,88	92,11	0,43	7,00
1877-78	*Trembières* Annemasse à Saint-Gingolph.	Arve	pile.. culée	20,54 18,26	26,87 21,62	0,76 0,84	3,[illegible] 4,[illegible]
1878-79	*Remoulins* Nîmes au Teil.	Gardon	pile..	28,70	46,28	0,62	4,[illegible]
1878-79	*Val Saint-Léger* Chemin de fer de Grande-Ceinture.	une vallée	pile..	35,89	75,44	0,47	6,[illegible]
1879	*Valentine* Toulouse à Bayonne.	Garonne	pile..	23,00	31,84	0,72	3,[illegible]
1879-80	*Cahors* Montauban à Brives.	Lot	pile.. culée	44,50 43,36	94,54 95,30	0.47 0,45	5,[illegible] 8,[illegible]
1880-81	*Marmande* { grand pont. Marmande à Casteljaloux { Viaduc de Canabéra.	Garonne	pile.. culée pile.. culée	32,00 38,33 25,10 33,85	74,03 90,38 45,17 67,31	0.43 0,42 0,55 0,50	[illegible] [illegible] 5,[illegible] 6,[illegible]

Nota. — Pour la plupart de ces ouvrages, les poids sont le résultat de pesées directes : m
Pour ces derniers, il peut y avoir, avec le poids réel, un écart de 4 à 5 p. 100.

…ALLIQUES A PLAFOND PLAT (*type de Kehl, sauf pour les ponts de … hausses, jusqu'au plan supérieur du poutrage seulement.*)

POUTRAGE				POIDS DE LA CHAMBRE DE TRAVAIL			HAUSSES	
Épaisseur en millimètres.	Hauteur.	Espacement.	Rapport de la hauteur à la longueur.	total. π	par m. carré de la surface du caisson. $\frac{\pi}{S}$	Poids total exprimé en fonction du périmètre P et de la surface S du caisson. $\pi = mP + nS$	Épaisseur en millimètres.	Poids par m. carré de parement (y compris les cornières).
»	m. »	m. »	»	kil. 170 000	kil. 1891,0	»	»	kil. »
10 10	0,50 0,50	1,30 1,30	1/11,6 1/11.6	103 500 138 000	844.9 833,9	» »	» »	» »
8	0,45	0,97 à 1,90	1/11,1	27 360	500,8	»	4	40,0
»	0,73	2,15	1/5	27 600	695,0	612,P + 260,4 S	5, 4, 3	50,0
10	0,60	2,25	1/7,3	25 600	499,0	497,8 P + 206 S	8, 7, 6, 5	55,3
8 et 10	0,50	0;98	1/10,2	27 994	392,0	442 P + 169,1 S	4	40,8
				20 750	397,0			
8 10	0,50 0,60	0.95 à 1,08 0.90 à 1.08	1/10 1/11,6	19 300 24 100	397 0 400,0	417 P + 163 S 441 P + 172 S	4 4	37,2 37,2
6 6	0,45 0,60	1,04 à 1,14 1.14	1/8,8 1/12,2	15 276 2 278	403.9 349,6	378 P + 150,8 S 372,6 P + 153,8 S	4 4	44,6 45,5
				94 809	424,0			
10	0,70	1,17	1/14,3	55 201	509,4	502,6 P + 320,1 S	4	35,4
				58 918 39 526	390,0 407,0			
				23 782 24 868 25 782	425,0 391,6 415,8			
…, 9 …, 9	0,50 0,50	1,08 0,92 à 1,08	1/8 1/10	21 250 23 700	382,4 334,1	370 P + 155,7 S 395,8 P + 170 S	4 4	40,2 40,2
6	0,50	1,00 à 1,08	1/10,3	17 400	371,4	404,5 P + 145,9 S	4	32,8
7	0,75	1,04 à 1,07	1/9,4	32 351	351,2	425,3 P + 167 S	4	39,8
5 5	0,40 0,40	0,75 à 1,06 1.09	1/9 1/10	10 036 7 966	373,5 368,4	306,7 P + 139 S 287,2 P + 125,8 S	4 4	39,5 39,5
5	0,45	0,90 à 1,08	1/9,3	13 913	300,6	291,9 P + 119,6 S		
5	0,65	1,09	1/9,8	19 963	263	304 P + 120 S	2	
…, 9	0,50	0,90 à 1,05	1/7,4	11 813	371,0	306,0 P + 149,8 S	3	30,9
7 … 7	0,50 0,50-0,65	0,92 à 1,16 0,86 à 1,18	1/10 1/9,8 1/12,5	30 412 31 714	321.7 332,8	337,2 P + 139,4 S 393,6 P + 153,7 S	3, 5 3, 5	36,5 33,3
… et 8 … et 8 … et 7 … et 7	0,60 0,60 0,45 0,50	1,10 à 1,15 1,10 à 1,15 1,10 à 1,15 1,10 à 1,15	1/12 1/11,7 1/12,2 1/12	18 500 21 600 12 500 16 700	250,0 239,0 277,0 248,0	278 P + 130 S 277 P + 123 S 271 P + 126 S 263 P + 116 S	3 3 hausses supprimées idem.	32,0 32,0

… ont été déduits de métrés faits sur des dessins de caissons, parfois un peu sommaires

NOTE D.

RENSEIGNEMENTS STATISTIQUES

SUR 82 PONTS FONDÉS A L'AIR COMPRIMÉ.

TERR

trave

e

sol de fo

OBSERVATIONS.

Grav

ll. — (*a*) Non compris les ponts de service et les frais

Cailloux roulé
Glaise très d
Glaise sablonn
sur 3

	PILES.	CULÉES.
	fr. c.	fr. c.
	120 00	100 00
	100 00	80 00
	90 00	75 00
tres..	85 00	70 00

Vieilles maço
sable
Fondat

All), *Pont de Remoulins, Ponts Saint-Esprit et Bagnols.*
onts on ajoutait 80 francs par mètre cube au delà de la
Vase rfait ; en deçà, on retranchait 40 francs.

Argile
Fondat

45, 2

41, 4

CES
massif
tion.

D'une culée.

OBSERVATIONS.

mq.

»

30. *Pont de Valentine.* — (*a*) On a rencontré le rocher 2 mètres plus haut du côté Toulouse que du côté Bayonne. Il a fallu 15 jours pour asseoir la fondation sur le rocher avec 0m,10 à 0m,15 d'encastrement minimum, et 42 heures pour le remplissage de la chambre.

[illegible] du cube obtenu en multipliant la surface des caissons par la profondeur : rapportée à ce dernier cube, la dépense serait de 95 francs environ par mètre cube.

HOLLANDE.

No 47. *Pont de Rotterdam.* — (Voir Notice sur les travaux publics de Hollande de M. l'inspecteur général Croizette Desnoyers.) La décomposition du prix du mètre cube est empruntée à l'ouvrage déjà cité de M. Heussinger von Waldegg. Dans sa notice, M. Desnoyers donne (note C, p. 196) la décomposition des dépenses de fondation d'une pile :

Caisson	Chambre de travail (226 117k.)	106 873f,00
	Hausses et cheminées (95 456k.)	38 163 00
Maçonneries	De briques à Portland dans la chambre 60mc,75 à 42f,96 =	2 610 00
	De béton à Portland dans les cheminées 644mc. à 42f,54 =	27 396 00
	De briques à Portland au-dessus du poutrage 384mc, à 36f,33 =	13 951 00
	De briques à mortier de trass 2 216mc. à 30f,04 =	66 569 00
	De pierres de taille 182mc,70 à 94f,77	17 315 00
Fonçage à l'air comprimé 1 960mc. à 7f,97 =		15 621 00
Divers	Bois pour consolidation à la partie supérieure	1 713 00
	Fers pour crampons reliant les pierres de taille	455 00
Installations	Location du chantier, échafaudages sur rives ou dans le fleuve	25 886 00
	Mise en place et enlèvement du matériel de fonçage	6 396 00
	Moins-value des machines et échafaudages 25 p. 100	22 365 00
Frais généraux (embarcadères et bateaux pour transport, terrains, etc.)		18 446 00
	Dépense totale	363 759f,00

Soit par mètre cube (tout compris) 93 francs.

URÉE
ın jours
ı fonçage
mplissage
compris).

C

OBSERVATIONS.

2 les dépenses d'échafaudages, rails, plaques tournantes, s, treuils wagonnets, etc. — B celle du matériel spécial à (Machines, chaînes, cheminées, écluses, compresseurs, con- C les caissons. — D le travail du fonçage (entretien et achines, fonçage proprement dit, dragages, etc.). Voir pour 6 *ch der ingenieur Wissenschaften* publié sous la direction de von Waldegg. — 1er Band VII, cap. Grundbaü (p 808 à dmis dans le calcul des dépenses 1f,25 comme valeur du A, B, C, D portés ci-contre sont établis, déduction faite du du matériel et des installations. En ne le déduisant pas, on

6

	A	B	C	D	Ensemble.
1					
1 ...sberg. . .	30 10	43 80	22 90	27 10	123 90
cub ...lorf.	28 30	28 10	25 10	11 40	92 90

...ohnsdorf. — (*a*) Non compris les maçonneries.

(122f

(26 ...*ts de Gibraléon et Fuentidueña del Tajo* (fondations ...rix ne comprend que la maçonnerie et le fonçage; les fontes par l'Administration.

CHRONIQUE.

(Février 1883.)

N° 11

Travaux d'entretien du canal de Suez. — Le canal maritime de Suez a une longueur totale de 86 milles marins, ce qui équivaut à 160 kilomètres.

Son profil est variable suivant les terrains traversés, mais le plafond de la cuvette est toujours de 22 mètres, et bien qu'il ne soit pas accepté de navire calant plus de 7^{m},50, la profondeur au-dessous du niveau moyen est toujours de 8^{m},50 au minimum ; dans la partie Sud entre Chalouf et Suez elle est maintenue à 9 mètres, et dans l'avant-port de Port-Saïd à 9^{m},50. Ces surcroîts de profondeur ont pour but, suivant les lieux, de parer à la diminution de fonds produits par les marées, les vagues ou les apports.

La largeur à la ligne d'eau varie de 100 mètres à 60 mètres. Mais partout le passage libre est signalé aux navires par des bouées bi-coniques dont l'écartement est de 40 mètres.

Bien que creusé partout en déblais au milieu de sables arides qu'aucune pluie ne vient humecter et que le vent soulève incessamment, sa profondeur ne diminue guère par ce seul fait. On estime cependant que dans les seuils traversés d'El-Guisr, du Sérapéum et de Chalouf, les apports au fond de la cuvette atteignent une hauteur de 0^{m},10 environ par an. Dans les autres parties du canal où le terrain environnant est presque au niveau de la mer les apports proviennent de causes diverses auxquelles on peut parer en partie.

Dans le lac Menzaleh, entre Port-Saïd et El-Ferdane, soit sur 60 kilomètres environ, les talus de la cuvette n'ont pas encore pris leur inclinaison naturelle, car le remous, produit par le passage des navires, donne peu à peu aux côtés sous-marins de la cuvette la forme arrondie qui leur convient et qui ne variera plus une fois qu'elle sera acquise.

Mais une autre cause plus importante nécessite actuellement des dragages. Les berges argilo-vaseuses de la section de Port-Saïd et

celles de la section de Suez qui sont en sable mélangé d'argile ou en gypse se corrodent à la ligne d'eau par suite du remous produit par les navires ou du clapotis des vagues; s'effritant sous l'action du soleil, elles tombent dans l'eau qui les baignent et glissent sur la risberme d'où elles sont entraînées dans la cuvette.

Nous avons dit que c'était là la cause dominante des apports, et le service de l'entretien l'a bien compris, car depuis 1872 il étudie divers types d'empierrements sur les berges, et le dernier auquel il s'est arrêté en 1882 revient à 105 francs le mètre courant : la somme dépensée annuellement à cet effet est d'environ 600 000 fr.

En dehors des parties exceptionnelles, telles que l'avant-port de Port-Saïd où les dragues enlèvent tous les ans les apports que produit le courant littoral, il faut estimer que le canal est dragué dans oute sa longueur une fois tous les cinq ans.

DRAGAGES.

Le matériel de dragage de la compagnie du canal de Suez était composée, en 1881, de :

2 dragues marines;
3 dragues Gouin;
1 drague à long couloir pour la cuvette;
1 drague à long couloir pour les risbermes.

Tout le monde sait que les dragues ordinaires nécessitent l'emdloi de *porteurs* ou bateaux à fond mobile qui reçoivent les déblais et vont les *vider* en mer ou dans des endroits spéciaux appelés *vidages*.

Pour le canal de Suez, le vidage se fait :
En rade de Port-Saïd, côté Est;
Dans le lac Timsah;
Dans les lacs Amers;
En rade de Suez.

L'heureuse répartition de ces *vidages* permet d'effectuer les dragages, sur la plus grande partie du canal, sans de trop grands frais de transport. Mais entre Port-Saïd et Ismaïlia, sur une longueur de 78 kilomètres, il n'existe pas de dépression assez forte où les *porteurs* puissent vider les déblais : heureusement que les berges étant basses, on peut encore faire usage des dragues à long couloir, qui ont été si utiles pour le creusement du canal. Quoique leur emploi pût encore avoir lieu dans la partie méridionale entre la gare du kilomètre 152 et Suez, on ne les utilise que dans la section de Port-Saïd, du piquet 0^m,60 au piquet 32^m, soit environ sur 60 kilomètres et cela à peu près sans interruption.

MOYENNE.	PETITE DRAGUE 33 chevaux à long couloir.	GRANDE DRAGUE 80 chevaux à long couloir.
RENDEMENT		
Heures de marche par jour	19h,46′	18h,24′
— chauffe —	23h,22′	23h,56′
Cube par jour de travail	837m3	2435m3
Nombre de jours de travail par mois	29,75	28,50
Heures de marche par mois	588h	524
Cube par heure de marche	42m3	132m3
Cube par mois	24 900m3	69 400m3
Heures de chauffe	695	682
Cube par heure de chauffe	36	102
CONSOMMATION DE CHARBON		
Charbon brûlé par heure de travail effectif	145k,360	301k,510
Charbon brûlé par heure pendant les arrêts { jour	36k,340	100k,500
{ nuit	7k,270	15k,070
Charbon brûlé par heure de marche	152k	332k
— — chauffe	129k	255k
— par jour de travail	3010k	6100k
— par mois	89t,500	173t,900
— par 1m3 de déblais	3k,594	2k,506
AVANCEMENT		
Jours d'arrêt par mois. { pour réparations	0,10	0,75
{ pour mauvais temps	0,10	»
{ pour causes diverses	0,05	0,75
Total	0,25	1,50
Jours de travail par mois	29,75	28,50
Heures de travail par mois	588	524
Avancement par heure de marche	5m,45	6m,25
— mois	3212m	3270m
Heures de chauffe par mois	695	682
Avancement par heure de chauffe	4m,65	4m,80
PRIX DE REVIENT		
Prix du mètre cube { Pour main-d'œuvre et matières	0f,982	0f,460
{ Grosses réparations et amortissement	0 217	0 102
{ Frais généraux	0 225	0 105
Total	1f,424	0f,667
Prix de l'heure de marche	42f	61f
— chauffe	35	47
Dépense par jour de travail effectif	821	1119
Dépense moyenne par mois	24 400	31900

Dans cette partie, la section du canal est formée d'une cuvette et d'une risberme, sur laquelle se loge le chaland porte-couloir de la drague, lorsque celle-ci doit se garer pour le passage d'un navire. Ce porte-couloir calant environ $2^m,20$, il est essentiel que la risberme qui s'étend jusqu'à 40^m de l'axe soit maintenue à $2^m,40$ environ de profondeur. Une petite drague à long couloir, appelée *Drague* 19, remplit ce but et précède constamment la drague à long couloir, partout où celle-ci doit draguer la cuvette.

Leur ensemble constitue deux chantiers que surveille un même mécanicien en premier, et qu'alimente d'eau douce une citerne à vapeur.

Nous croyons inutile de rappeler le fonctionnement de ce puissant engin qui s'avance sur une longue chaîne immergée, dite *chaîne d'avancement*, et qui *papillonne* sur quatre chaînes fixées à des pieux sur les rives, deux à bâbord, deux à tribord. Les déblais pris à $8^m,50$ de profondeur sous l'eau sont élevés par la chaîne à godets et retombent dans un couloir dont le bec est à 5 mètres environ au-dessus du plan de l'eau.

Une presse hydraulique élevant ou abaissant le couloir permet d'en faire varier l'inclinaison suivant la hauteur des berges et suivant la nature des déblais que délaie d'ailleurs un courant d'eau lancé par une pompe spéciale.

Le garage de cet appareil, d'une force de 80 chevaux, et qu occupe à la ligne d'eau une surface de $27^m,50$ sur 33 mètres s'opère avec la plus grande célérité dès qu'un navire est signalé. Les treuils de papillonnage, agissant sur les chaînes de bâbord, fixent la drague contre la berge, celles de tribord sont lâchées et tombent au fond de l'eau, et l'élinde est relevée. Le navire passe sans crainte à une distance de 7 à 8 mètres du flanc tribord.

Les tableaux sont relatifs au fonctionnement de la petite drague et de la grande drague à long couloir.

Il n'est pas inutile de donner quelques renseignements sur la manière dont sont organisés les chantiers et les équipes de ces appareils.

Les deux dragues travaillent à proximité : un surveillant mécanicien dirige leur fonctionnement, et une citerne à vapeur leur distribue l'eau douce qu'elle va puiser à un garage voisin. Les équipages de chaque drague sont doubles et travaillent alternativement par quarts de six heures.

L'équipage de la grande drague est ainsi organisé :

1 surveillant-mécanicien;

2 seconds;
1 mécanicien;
2 mécaniciens en second;
4 chauffeurs;
16 matelots;
2 chauffeurs pour la locomobile de la pompe;
4 manœuvres (Arabes);
1 gardien des feux et vigie;
15 terrassiers au bourrelet.

Ces derniers doivent maintenir sur les berges le bourrelet qui a pour but d'empêcher les déblais de retomber dans le canal.

Quant aux autres dragues qui travaillent dans les autres parties du canal où les berges sont plus élevées, leur mode de fonctionnement est suffisamment connu; et bien qu'elle soit pourvues de dispositions perfectionnées, fruit d'une longue expérience, il est moins intéressant de s'y appesantir.

Voici cependant quelques moyennes relatives au rendement des divers types de dragues employés suivant les divers points où elles fonctionnent :

MOYENNE.	DRAGU
Heures de marche. . . . . . par jour	
— chauffe. . . . . . par jour	
Cube. . . . . . par jour	
Jours de travail. . . . . . par mois	
Heures de marche.. . . . . . par mois	
Cube par heure de marche.	
Cube par mois.	
Heures de chauffe par mois.	
Cube par heure de chauffe.	
CONSO	
Charbon brulé par heure de travail effectif.	
— pendant les arrêts. . . . . . jour.	
— pendant les arrêts. . . . . . nuit.	
— par heure de marche..	
— — chauffe..	
— par jour de travail.	
— par mois.	
— par mètre cube de déblais..	
Jours d'arrêt par mois pour réparations..	
Jours d'arrêt par mois pour mauvais temps.	
Jours d'arrêt par mois pour causes diverses.	
Total.	
Jours de travail par mois.	
Heures de marche.	
Avancement par heure de marche.	
— par mois.	
Heures de chauffe par mois.	
Avancement par heure de chauffe.	
Prix du mètre cube de déblais. . . . . pour main-d'œuvre et matières..	
Prix du mètre cube de déblais. . . . . — grosses réparations et amortissement.	
Prix du mètre cube de déblais. . . . . — frais généraux.	
Total..	
Prix de l'heure de marche..	
— chauffe..	
Dépense par jour de travail effectif.	
— moyenne par mois.	

CHEVAUX.	DRAGUE GOUIN, 75 CHEVAUX.			
		CANAL		
ant-port.	Avant-port.	Sect. Port-Saïd.	Section Ismaïlia.	Section Suez.
T.				
.$1^h,55'$	$11^h,37'$	$9^h,23'$	$9^h,32'$	$10^h,04'$
.$3^h,23'$	$13^h,23'$	$13^h,04'$	$13^h,05'$	$14^h,02'$
2904^{m3}	1377^{m3}	1026^{m3}	968^{m3}	654^{m3}
26,45	26,80	28,75	28,20	28,20
315	338	270	269	284
244^{m3}	109^{m3}	109^{m3}	101^{m3}	65^{m3}
'6800^{m3}	36900^{m3}	29500^{m3}	27300^{m3}	18500^{m3}
354	359	376	370	396
217^{m3}	103^{m3}	78^{m3}	74^{m3}	47^{m3}
HARBON.				
'$0^k,110$	$247^k,330$	$246^k,390$	$239^k,650$	$234^k,100$
$4^k,020$	$49^k,460$	$82^k,130$	$79^k,880$	$78^k,030$
$8^k,505$	$12^k,360$	$12^k,320$	$11^k,980$	$11^k,700$
2^k	271^k	293^k	283^k	277^k
2^k	225^k	210^k	206^k	198^k
5^k	2685^k	2750^k	2675^k	2755^k
$7^t,300$	$70^t,300$	$79^t,100$	$76^t,200$	$78^t,500$
$0^k,746$	$2^k,663$	$2^k,681$	$2^k,791$	$4^k,243$
T.				
1,50	2,30	2,25	1,30	1,45
1,55	0,25	»	0,10	»
0,50	0,65	»	0,40	0,35
3,55	3,20	2,25	1,80	1,80
26,45	26,80	28,75	28,20	28,20
315	338	270	269	284
$3^m,90$	$2^m,45$	$3^m,35$	$5^m,75$	$3^m,80$
2^m	827^m	900^m	1550^m	1070^m
354	359	376	370	396
$3^m,50$	$2^m,30$	$2^m,40$	$4^m,20$	$2^m,70$
ENT.				
$0^f,506$	$0^f,904$	$1^f,061$	$1^f,039$	$1^f,754$
0 113	0 203	0 243	0 228	0 391
0 126	0 198	0 195	0 223	0 393
0 745	1 305	1 499	1 490	2 538
4^f »	99^f »	116^f »	106^f »	114^f »
0 »	93 »	83 »	77 »	82 »
1 »	1243 »	1089 »	1008 »	1149 »
0 »	33300 »	31300 »	28400 »	32400 »

La différence du prix de revient du mètre cube extrait par la même drague dépend, comme on le voit, des conditions suivant lesquelles elle travaille, le terrain étant à peu près le même.

Pour la drague marine, en rade les interruptions sont très fréquentes à cause du mauvais temps.

Pour les dragues Gouin, la différence provient du transport des déblais. Ainsi, dans la section de Suez où les porteurs doivent *vider* les déblais à des distances qui atteignent parfois 20 kilomètres, le prix de revient par mètre cube monte à 2f,538. Il faut dire aussi que la section de Suez est sujette au flux et au reflux, les courants y sont très forts et obligent souvent les porteurs à s'amarrer un certain temps, ce qui arrête le travail de la drague.

EMPIERREMENTS.

Nous allons maintenant aborder une autre question relative également à l'entretien du canal maritime, et qui est, comme nous l'avons déjà fait voir, intimement liée au dragage. Nous voulons parler des empierrements sur les berges à la ligne d'eau.

Lorsqu'un navire s'avance dans le canal, même avec la faible vitesse de 6 nœuds à l'heure (vitesse réglementaire), il produit un mouvement d'eau considérable dans la section qu'il traverse. L'eau se précipitant à la suite du navire pour remplir le vide qu'il produit, donne naissance à une lame d'eau qui atteint 0m,60 de hauteur et corrode le pied des berges. Celles-ci se découpant peu à peu en falaises, tombent par tranches verticales dans le canal, de sorte que la ligne d'eau se trouve reportée de plus en plus loin. Il est absolument indispensable d'arrêter ces érosions dont les débris viennent diminuer la profondeur d'eau dans la cuvette.

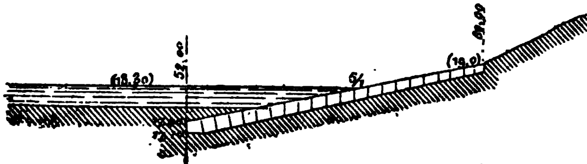
Dans les terrains argileux ou argilo-vaseux, où il est possible de fonder sous l'eau au moyen de batardeaux et où l'épuisement est possible sans de grandes difficultés, on emploie des empierrements maçonnés, inclinés, et dont le pied descend à 2 mètres environ au-dessous de l'eau. A cette profondeur, l'effet de corrosion de la lame d'eau ne se fait plus sentir et l'empierrement peut rester intact.

Mais dans les parties sablonneuses où il serait impossible d'épuiser et par conséquent de maçonner avec succès, on construit des empierrements en pierre sèche à gradins, dont le pied est maintenu par de vieilles cornières en fer enfoncées, suivant un alignement déterminé, soit à la main, soit au moyen d'une sonnette flottante.

Avant de s'arrêter à un type d'empierrement, on a assez longtemps tâtonné. Toutes sortes de pentes et diverses profondeurs ont été essayées. La meilleure preuve que nous en puissions donner est la désignation du type auquel on s'est arrêté en 1882.

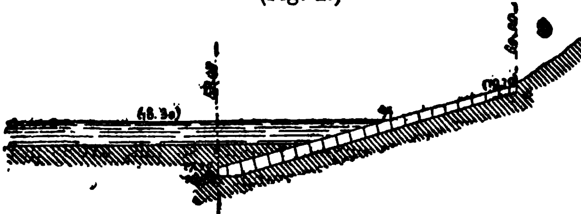
Voici quels sont les types d'empierrements les plus récents et les plus employés, et leur prix de revient (*) :

(Fig. 1.)



Pierre par mètre courant.	$2^t,895$
Main-d'œuvre.	$21^f,229$
Prix de la pierre.	$24^f,323$
Chaux par mètre.	$254^k,735$
Prix de la chaux.	$14^f,011$
Prix de l'empierrement par mètre	$59^f,563$
Quantité de chaux par tonne de pierre.	$87^k,895$
Main-d'œuvre par tonne de pierre.	$7^f,330$

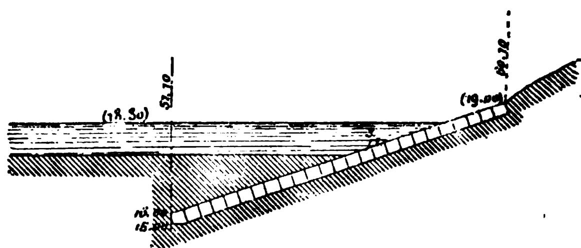
(Fig. 2.)



Pierres par mètre courant.	$3^t,91$
Prix — —	$80^f,00$

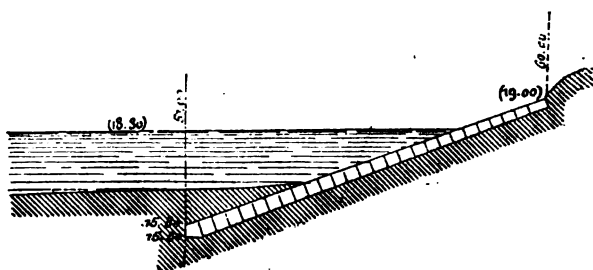
(*) Les cotes verticales indiquent les distances à l'axe du canal.

(Fig. 3.)



Pierres par mètre courant.. . . . . 4^t^,48
Prix — — 100^f^,00

Type modifié (fig. 4).



Pierres par mètre courant. . . . . 4^t^,50
Prix — — 105^f^,00

La construction de ces empierrements se fait, avons-nous dit, au moyen de batardeaux qu'on remplit d'argile prise sur les berges et que l'on pilonne avec soin. Les Arabes qui composent ces chantiers se mettent dans l'eau et épuisent au moyen de seaux. Le procédé est assez primitif, mais en somme assez économique ; il ne devient défectueux que si une rupture de batardeau se produit sous la pression de l'eau ou le violent remous d'un navire.

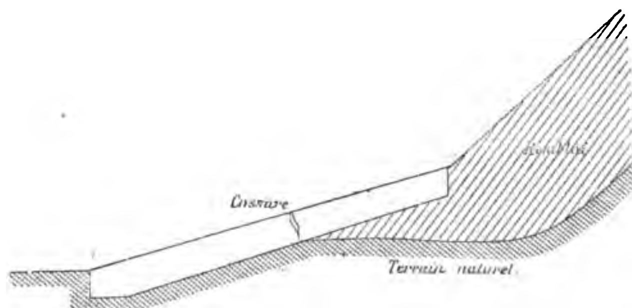
La fouille qui se fait ensuite est assez coûteuse par suite de la viscosité des terres détrempées ; c'est elle qui majore si fortement les prix de revient des deux derniers types adoptés.

La tenue de ces empierrements est généralement assez bonne ; les matériaux sont d'ailleurs d'excellente qualité. La pierre, qui vient de l'Attaka, montagne voisine de Suez, est formée de cail-

loux, de coquilles et de débris de végétaux pétrifiés et agglutinés par de la silice ; la chaux hydraulique provient du Theil.

Quelques-uns des empierrements dernièrement construits paraissent cependant défectueux, et présentent des cassures longitudinales qui compromettraient le sol de l'empierrement si elles n'étaient bouchées (fig. 5). La cause en est la suivante. Les éro-

(Fig. 5.)



sions ayant reporté la ligne d'eau au delà de la distance théorique de 50 mètres, on est forcé de remblayer pour asseoir l'empierrement qui repose, par suite, sur deux terrains d'inégale consistance. Il semblerait préférable d'adopter, dans ce cas, une pente plus raide.

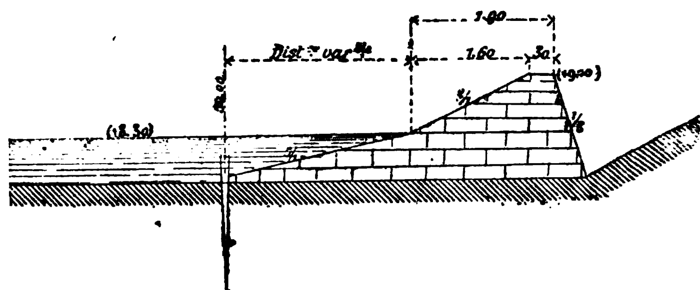
Dans tous les terrains où le sable est pur, il ne se produit pas d'érosions, mais une petite plage où vient mourir le remous.

Mais si le sable est mélangé d'argile, les érosions sont très importantes; on les arrête en les empierrant.

Dans les commencements, on se bornait à jeter pêle-mêle quelques pierres qui ne faisaient qu'aggraver le mal, car le remous venant se briser contre ces pierres, affouillait le terrain à l'entour, et peu à peu elles étaient entraînées sur la risberme et de là dans la cuvette. On songea alors à les retenir au moyen de vieilles cornières qu'on appointissait et qu'on enfonçait suivant un alignement.

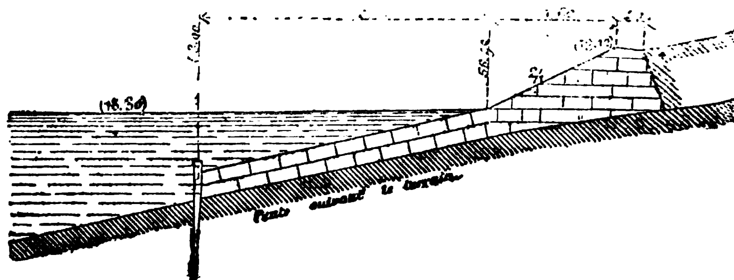
De là deux types d'empierrement :

Type (fig. 6.)



Par mètre courant. . . . . { 4t,87 / 55f,00 }

Type modifié (fig. 7).



Par mètre courant. . . . . { 4t,90 / 65f,00 }

La main-d'œuvre de ce dernier type d'empierrement est très coûteuse, surtout pour l'exécution du glacis qui doit avoir des assises à joints parfaitement croisés et qui exige l'emploi de pierres s'appuyant au moins sur deux cornières. Cette condition est essentielle, car à la suite de l'affouillement qui se produit au pied des cornières, tout le glacis doit descendre d'une seule pièce, sinon les pierres se bouleversent et disloquent tous les gradins.

Il arrive aussi très souvent que les chaînes à papillonnage des dragues qui sont amarrées sur les berges à des *corps morts*, s'introduisent entre deux cornières et les inclinent; le pied du glacis, n'étant plus retenu, s'échappe et tout l'empierrement est entraîné dans sa chute.

PLANTATIONS.

Il ne reste, pour terminer cet aperçu sur les travaux de protection des berges, qu'à dire un mot des plantations faites à la ligne d'eau du canal dans le but d'empêcher les érosions.

Des plans de tamarix ont été piqués sur les berges en plusieurs points. Les essais ont été absolument infructueux, sauf dans les seuils d'El-Guisr et du Sérapéum dont le terrain sablonneux paraît seul convenir à cet arbuste. Encore est-il nécessaire dans les premières semaines de faire des arrosages d'eau douce qui sont excessivement coûteux, attendu que les prises d'eau sont espacées de 10 kilomètres. (*Extrait des Annales de la Construction.*)

Durée comparative des rails de fer et d'acier. — Le *Bulletin* du Comité des Forges de France publie le tableau suivant donnant la durée comparative des rails de fer et d'acier sur les chemins de fer belges.

ANNÉE de la pose.	ANNÉES de service.	QUANTITÉ P. 100 DE RAILS REMPLACÉS	
		Fer.	Acier.
1869	12	65,74	0,89
1870	11	84,54	—
1871	10	95,74	—
1872	9	72,41	0,44
1873	8	41,41	—
1874	7	17,44	—
1875	6	26,66	—
1876	5	14,98	—
1877	4	4,19	—
1878	3	—	—
1879	2	0,23	—
1880	1	—	—

Longueur des chemins de fer et des tramways électriques. — D'une statistique récente il résulte que la longueur des chemins de fer ou tramways électriques, en exploitation ou en construction, atteint 160 kilomètres.

Les lignes en exploitation sont : en Allemagne, celles de Lichterfeld, de 9k,300, et de Spandaner-Bock à Charlottenburg, près de Berlin;

2° En Irlande, celle de Zandwoort à Kostverloren, de 2k,10.

Les lignes concédées, ou en construction, sont :

1° En Allemagne, celle de Wiesbaden à Nuremberg, de 2 kilo-

mètres, et celle des mines royales de Saxe à Zankersde, de 2 kilomètres.

2° En Autriche, celle de Wodling, près Vienne, de $2^k,5$.

3° En Angleterre, à Londres, la ligne de Charing-Cross à Waterloo-Place, de $1^k,2$; et, dans le Sud du Pays de Galles, une ligne de 60 kilomètres alimentée des chutes d'eau.

4° En Italie, celle de Turin à Milan.

5° Aux États-Unis, une ligne de 80 kilomètres qui sera exploitée par la Compagnie Edison : à Saint-Louis, une ligne de 2 kilomètres est également en construction. (*Extrait des Annales industrielles.*)

(N° 12)

NOTE

SUR

LA MESURE DES VITESSES ET DES DÉBITS

DANS UN COURS D'EAU RAPIDE ET PROFOND.

Par M. H. de LAGRENÉ, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

La présente note décrit les procédés et les appareils employés pour mesurer, au moyen du moulinet, les vitesses de l'Elbe, du Danube et d'autres cours d'eau importants de l'Autriche. Elle n'est qu'une analyse abrégée de l'ouvrage publié en allemand par M. Harlacher, professeur à l'École polytechnique de Prague et chef des travaux hydrométriques de la Bohême (*).

Nous avons pensé qu'il y aurait intérêt à faire connaître par la voie des *Annales* les ingénieux appareils imaginés et perfectionnés peu à peu par M. Harlacher, pendant dix-huit années d'études et d'expériences.

Établissement d'un support rigide pour le moulinet, et détails de construction et de manœuvres. — Dans les cours d'eau peu rapides et peu profonds, le moulinet peut être suspendu au bout d'une perche suivant le procédé habituellement employé (*fig.* 1), mais si cette perche doit être enfoncée profondément dans un courant rapide, sa

(*) *Die messungen in der Elbe und Donau, und die Hydrometrischen apparate und methoden des Verfassers,* von Harlacher, professor an der Deutschen technischen hochschule in Prag. — Leipzig, Verlag von Arthur Félix.

manœuvre devient très pénible, elle prend une flèche comme une pièce encastrée à une extrémité et dont l'autre extrémité est libre, elle se tord; le moulinet n'est plus dirigé suivant le fil de l'eau, il s'incline plus ou moins dans tous les sens et ne donne plus la vitesse que l'on veut connaître.

Pour corriger ces défauts, on donne pour support au moulinet un tube métallique suffisamment rigide, légère-

Fig. 1.

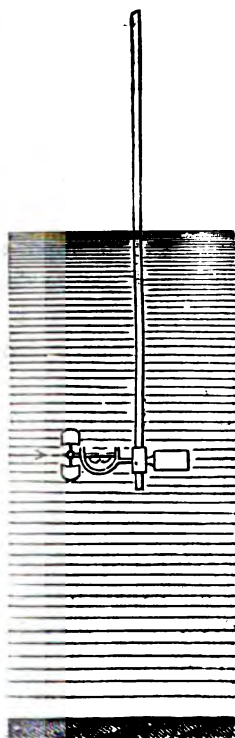
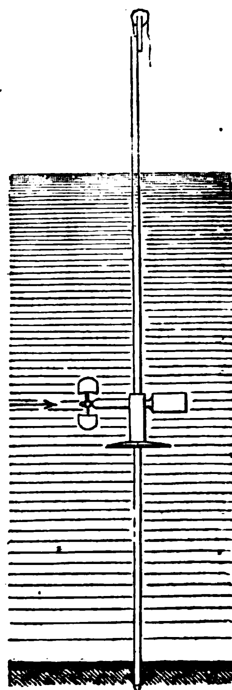


Fig. 2.



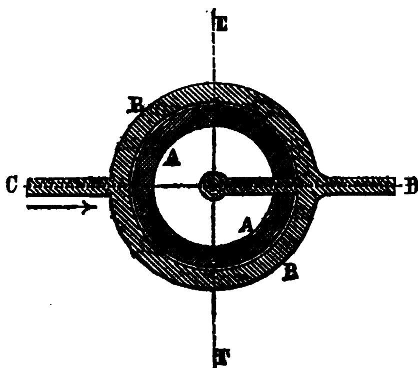
ment enfoncé à sa partie inférieure dans le fond du cours d'eau, et maintenu verticalement en tête par un appontement convenable (Pl. 8, *fig.* 2); le moulinet glisse le long

de ce tube, il est soutenu par une corde qui passe dans l'intérieur du tube, enfin, il porte à sa partie inférieure un disque qui limite sa course en venant reposer sur le fond de manière que le moulinet ne puisse y toucher lui-même et s'y détériorer.

La corde de suspension est graduée et indique la profondeur à laquelle se trouve le moulinet.

Le tube de support porte, suivant une génératrice et du côté d'aval, une fente rabotée dans laquelle pénètre et glisse verticalement un rayon faisant corps avec la douille qui porte le moulinet. C'est sur ce rayon qu'est fixée la corde de suspension (*fig.* 3); le moulinet est d'ailleurs

Fig. 3.



AA tube du support; BB douille du moulinet; C côté du moulinet; D côté du gouvernail (aval); EF profil en travers normal au courant;

équilibré au moyen de son gouvernail de manière que son centre de gravité soit sur l'axe du tube. Ce gouvernail sert uniquement de contrepoids, l'orientation du moulinet étant déterminée par celle du tube de support.

Afin d'éviter que la pression produite par le courant contre le moulinet et contre sa douille n'occasionne un frottement qui pourrait gêner le mouvement vertical du moulinet le long du tube de support, la douille porte inté-

rieurement six petits galets, trois en haut et trois en bas, de sorte que le moulinet roule avec facilité le long du tube et descend par son propre poids.

La corde de rappel est arrêtée à volonté par une pince fixée à portée de la main de l'opérateur sur la partie du tube qui est hors de l'eau, ou bien elle s'enroule sur un petit cylindre mû à volonté par une manivelle et pourvu d'un encliquetage.

L'écartement vertical entre le disque inférieur d'arrêt et l'axe du moulinet est de $0^m,15$ à $0^m,20$, le mouvement des ailes du moulinet se trouve ainsi protégé efficacement; généralement il ne paraît pas utile de descendre l'instrument plus près du fond, la courbe des vitesses suivant une verticale ayant un caractère de continuité qui permet d'en déterminer les points qui ne sont pas donnés directement.

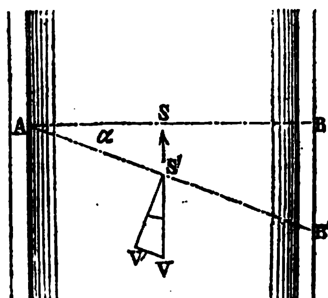
Le tambour sur lequel s'enroule la corde de suspension a une circonférence dont le développement mesure $0^m,50$; il porte un cadran divisé en cinquante parties égales, de sorte que chaque division indique un mouvement du moulinet de $0^m,01$ suivant la verticale. Le nombre des rotations est compté, soit directement, soit par une aiguille disposée à cet effet.

Le moment où le disque touche le fond se reconnaît aussitôt que la corde devient lâche.

Le tube de support porte en tête, sur un petit cylindre mobile (Pl. 8, *fig.* 1, 16, 19), une ligne de visée perpendiculaire au plan vertical passant par l'axe du tube et par la fente qui guide le gouvernail du moulinet. En visant les repères placés sur la rive, on place cette ligne de visée suivant le profil en travers que l'on étudie, lequel profil est normal à la direction générale du courant; le moulinet se trouve ainsi orienté suivant une normale au profil en travers et parallèlement à la direction du courant, il ne peut s'écarter ni dans le sens horizontal ni dans le sens vertical.

On sait toutefois que dans un même profil en travers toutes les vitesses sont loin d'être parallèles entre elles, de sorte qu'en réalité, le soin que l'on prend à tracer le profil en travers normalement à l'axe du cours d'eau n'a pas pour conséquence d'éviter une rencontre oblique entre le moulinet et un certain nombre de filets ; mais il est facile de reconnaître que le jaugeage peut se faire suivant un profil en travers oblique A B′ aussi bien que suivant le profil en travers normal AB (*fig.* 4), pourvu que le mou-

Fig. 4.



linet soit constamment normal au profil suivant lequel on opère.

En effet, le débit élémentaire suivant chaque profil est égal à l'élément de surface de ce profil multiplié par la composante de la vitesse normale à cet élément.

Si donc on désigne par dS l'élément superficiel de la section mouillée S suivant AB,

dS' l'élément superficiel de la section mouillée S′ suivant AB′,

Q le débit mesuré suivant AB,

Q′ le débit mesuré suivant AB′,

α l'angle des deux profils,

V la vitesse normale à l'élément dS,

V′ la vitesse normale à l'élément dS',

On a :

$$Q = \int V\,dS \quad \text{et} \quad Q' = \int V'\,dS';$$

mais

$$dS = dS' \cos\alpha \quad \text{et} \quad V' = V\cos\alpha,$$

d'où

$$Q' = \int V\cos\alpha \frac{dS}{\cos\alpha} = \int V\,dS = Q.$$

Ainsi, avec un appareil qui permet de maintenir constamment le moulinet dans une direction normale au profil, le jaugeage peut se faire sur un profil oblique aussi bien que sur un profil normal qui lui-même n'est normal que d'une manière approximative, puisque l'expérience prouve qu'en chaque point d'un cours d'eau il se produit des variations fréquentes dans la direction et dans l'intensité de la vitesse, sous l'influence de tourbillons presque continuels.

En résumé, pour avoir la composante de la vitesse normale à un profil, il faut absolument que le moulinet soit maintenu dans une direction invariable, et c'est ce qu'a réalisé M. Harlacher.

Calcul du nombre de rotations du moulinet. — Compteur électrique. — Les moulinets dont nous nous servons habituellement sont munis d'un compteur qui marque le nombre de tours effectués par le moulinet pendant un temps connu ; pour lire ce nombre de tours, il faut tirer l'appareil hors de l'eau, on l'y replonge ensuite pour une autre expérience.

Le tube de support de M. Harlacher facilite beaucoup ces mouvements renouvelés à chaque lecture, mais M. Harlacher a voulu éviter la perte de temps qui en résulte nécessairement, et pour cela il a établi une communication électrique entre le moulinet et le plancher sur lequel

se tient l'observateur, de manière que ce dernier ait connaissance du nombre de tours à chaque instant, sans déplacer l'instrument.

On comprend que la rapidité des opérations est une des conditions de succès dans les jaugeages des grands cours d'eau, à cause des variations de hauteur et de débit qui peuvent survenir.

On imagine facilement qu'une pile placée près de l'observateur peut-être rattachée au moulinet par un fil placé dans le tube de support, et que ce fil peut être disposé de telle sorte que chaque rotation produise une interruption et une reprise du courant ; enfin qu'à chaque période de cinquante ou de cent tours, par exemple, on soit averti par un signal voulu, soit acoustique, soit optique, soit graphique. Telle est l'idée générale de l'appareil réalisé par M. Harlacher qui démontra, en 1872, que le contact entre le moulinet et le conducteur peut avoir lieu au milieu de l'eau sans qu'il soit besoin de placer ce contact dans une enveloppe étanche plus ou moins compliquée. La présence de l'eau entre les surfaces qui donnent les contacts successifs a même, suivant l'auteur, l'avantage de pouvoir rendre suffisant un faible courant électrique.

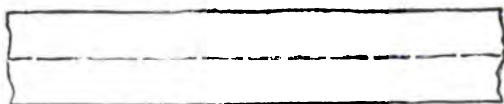
Appareil à cloche. — L'appareil à cloche donne un procédé très simple pour compter le nombre des rotations. Le courant électrique naturellement interrompu n'est fermé qu'après chaque m^e rotation; au moment du contact qui produit la fermeture, une cloche sonne et le son dure autant que le contact; quand la cloche aura sonné n fois, le moulinet aura fait mn tours ; le temps est d'ailleurs donné par un chronomètre. M. Harlacher pense que la durée de l'observation en chaque point, c'est-à-dire le temps pendant lequel les mn rotations ont lieu, doit être à peu près uniforme, par exemple de cinq minutes. (L'appa-

pareil à cloche est représenté Pl. 8, *fig.* 1, 2, 3, 4, 8, 10, 13, 14, 15, 16, 17, 19.)

Appareil à compteur intercalé. — L'appareil peut être disposé de telle sorte qu'il y ait un contact et une interruption à chaque rotation ; dans ce cas, le signal acoustique n'est plus d'un usage facile parce qu'il serait trop fréquent ; on intercale alors dans le courant un compteur spécial armé d'un électro-aimant qui, à chaque contact, attire une ancre et fait ainsi avancer d'une division l'aiguille d'un premier cadran. Quand cette aiguille a fait dix tours, l'aiguille d'un second cadran avance d'une division. M. Harlacher pense que ce mode de compteur ne convient que pour des faibles courants liquides, il a pu cependant compter ainsi jusqu'à environ sept cents révolutions par minute.

Appareil enregistreur graphique. — Pour enregistrer le nombre des rotations et les représenter aux yeux par un tracé, M. Harlacher intercale dans le courant un appareil Morse, c'est-à-dire une bande de papier animée d'une vitesse connue et recevant l'empreinte d'une plume ou d'un crayon tant que dure chaque contact. A chaque rotation correspond une marque (*fig.* 5), et l'examen du graphique permet de se rendre compte immédiatement de la régularité du courant, de ses variations continuelles en chaque

Fig. 5.



point, de la périodicité plus ou moins marquée de ces variations, enfin il facilite l'étude si délicate et si peu

connue des mouvements des filets ou des molécules d'un cours d'eau.

Les variations de la vitesse en un point sont si nombreuses que pour pouvoir en apprécier exactement la vitesse moyenne, il faut, suivant M. Harlacher, faire durer l'observation pendant au moins cinq minutes.

Détermination de la vitesse moyenne suivant une verticale. — Intégrateur mécanique. — La vitesse de l'eau en un point s'obtient, comme on le sait, en multipliant par le coefficient de tarage, le nombre de tours effectués par le moulinet pendant une seconde. Nous laissons actuellement de côté ce coefficient, que nous étudierons plus loin.

Si après avoir déterminé la vitesse au droit des différents points d'une verticale AB on construit la courbe A_2B_1,

Fig. 6.



qui a pour ordonnées ces vitesses, on donne le nom de vitesse moyenne au quotient de la surface AA_2B_1B par la hauteur AB (*fig.* 6), ce qui s'exprime par l'équation

$$Vm = \frac{\int_0^h vdy}{h}.$$

La surface AA_1B_1B peut se mesurer sur l'épure au moyen du planimètre polaire et conduire ainsi à la connaissance de la vitesse moyenne V_m, mais on peut obtenir directement cette vitesse moyenne au moyen du moulinet glissant le long de son tube de support et muni de l'enregistreur graphique. Il suffit en effet de laisser descendre le moulinet de A en B *avec une vitesse uniforme* et d'examiner sur le graphique le nombre de tours n effectué pendant cette descente; un compteur à secondes donne d'ailleurs la durée t de la descente, le quotient $\frac{n}{t}$ donne le nombre de tours correspondant à la vitesse moyenne V_m, et par suite, on a cette vitesse en multipliant $\frac{n}{t}$ par le coefficient de tarage.

Le mouvement descendant (ou ascendant) du moulinet est rendu uniforme par divers procédés, soit par un système de déclanchement mû par un pendule à secondes laissant passer, à chaque battement une dent de l'engrenage que porte le tambour sur lequel s'enroule la corde de support, soit par un volant convenable monté sur ce cylindre, soit simplement par une manivelle. Le fil conducteur du courant est tressé dans la corde de support pour faire moins obstacle au mouvement.

Dans le mouvement d'intégration à la descente, on place le moulinet au-dessus de l'eau afin qu'il ait déjà acquis une vitesse uniforme quand il atteint la surface liquide, et c'est à ce moment qu'on met en mouvement d'une part l'appareil enregistreur graphique et d'autre part le chronoscope.

M. Harlacher recommande de chercher la vitesse moyenne en descendant uniformément le moulinet, puis

ensuite en le remontant uniformément ou inversement, puis de prendre la moyenne de deux résultats s'ils ne sont pas identiques.

On observe que le moulinet ne peut descendre jusqu'au sol et que si c est l'écart entre l'axe du moulinet et le fond, quand le disque d'arrêt repose sur le sol, la vitesse moyenne trouvée sera

$$\frac{\int_0^{h-c} v d}{h-c},$$

tandis que la vitesse moyenne réelle est $\frac{\int_0^h v dy}{h}$; elle est un peu plus faible que la précédente. Mais pour les cours d'eau profonds, dont nous nous occupons spécialement ici, la différence entre ces deux expressions est sans aucune importance et nous laisserons de côté les procédés de correction indiqués par M. Harlacher pour être appliqués au besoin.

Variations de la vitesse en un point. — Le moulinet muni de l'enregistreur graphique permet, comme nous l'avons dit, d'étudier les variations de vitesse en un point; il donne les éléments de la courbe $V = f(t)$, dont les abscisses représentent le temps et les ordonnées la vitesse; la bande de papier qui reçoit la trace des rotations est en effet animée d'un mouvement uniforme et indique le nombre de rotations pendant chaque seconde.

La figure 21, Pl. 8 représente les courbes des variations des vitesses constatées pendant une minute dans l'Elbe, à Tetschen, le 14 octobre 1877.

Les variations paraissent être moins nombreuses, mais plus importantes près du fond, comparativement à celles voisines de la surface.

Ce mouvement pulsatoire de l'eau ne peut, suivant M. Harlacher, s'expliquer que par l'existence de tourbillons. Toute la masse de l'eau lui paraît être soumise à un mou-

vement vibratoire qui n'est guère compatible avec l'hypothèse du parallélisme des filets liquides.

Tarage d'un moulinet. — Le tarage d'un moulinet consiste à trouver la relation entre le nombre *n* de ses rotations par seconde et la vitesse V de l'eau en un point déterminé.

Comme on le sait, le tarage peut se faire, soit en fixant le moulinet dans une eau courante dont on connaît la vitesse, soit en le faisant mouvoir dans une eau tranquille ; M. Harlacher considère la première méthode comme la moins exacte, à cause des perturbations produites par les tourbillons et par les variations continuelles de la vitesse de l'eau en chaque point, il s'est donc servi de la seconde, en procédant ainsi que nous allons l'expliquer.

Les conditions à remplir sont les suivantes :

1° Avoir à sa disposition un plan d'eau tranquille suffisamment étendu pour que le chemin parcouru par le moulinet puisse atteindre 80 ou 100 mètres.

2° Le moulinet plongé à environ $0^m,50$ ou 1 mètre de profondeur doit recevoir un mouvement rectiligne.

3° Le tube de support du moulinet doit conserver pendant tout le mouvement une position rigoureusement verticale.

4° L'axe du moulinet doit conserver une direction horizontale parallèle au chemin parcouru.

5° Le mouvement doit être uniforme.

6° On doit recommencer un grand nombre de fois le même trajet avec des vitesses différentes, variant depuis la plus faible jusqu'à la plus forte, et c'est sur la moyenne des résultats obtenus qu'on établit le tarage. Dans divers tarages exécutés sur la Moldaw, le nombre des trajets a varié de 30 à 90 et les vitesses de déplacement ont varié de $0^m,069$ à $3^m,23$.

7° Les appareils compteurs mécaniques ou électriques

qui indiquent le nombre de tours du moulinet doivent être disposés de manière à s'arrêter ou à être mis en mouvement au moment où le moulinet traverse les profils en travers qui limitent le trajet. Il faut enfin avoir une mesure exacte du temps du trajet.

Les figures 7 et 8 indiquent les dispositions adoptées

Fig. 7.

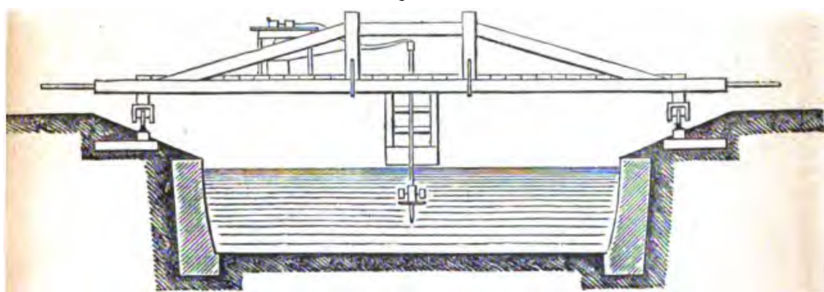
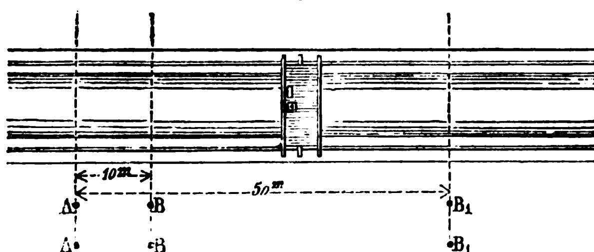


Fig. 8.



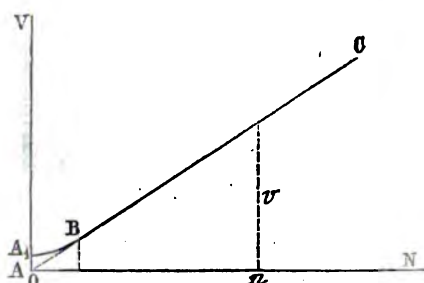
par M. Harlacher pour remplir les conditions qui viennent d'être indiquées.

De chaque côté d'un canal rectiligne d'environ 7 mètres de largeur et $1^m,50$ de profondeur on a établi solidement un rail sur lequel roule une passerelle à laquelle est suspendu le moulinet. Une caisse inférieure à cette passerelle, mais supérieure à l'eau, reçoit un manœuvre qui surveille de plus près l'instrument et fait les lectures quand l'appareil n'est pas muni d'un compteur ou d'un enregistreur

électrique. Le mouvement de la passerelle est obtenu au moyen d'un nombre égal d'hommes poussant sur chaque rive. Des jalons à pinnule AA et BB marquent les profils en travers limitant le trajet, qui pour les petites vitesses n'est que de AB = 10 mètres, tandis que pour les grandes vitesses il atteint AB_1 = 100 mètres.

Pour les divers moulinets tarés ainsi, M. Harlacher a trouvé que la relation entre V et n est du premier degré de la forme $V = \alpha + \beta n$, en exceptant toutefois les très petites vitesses inférieures à environ $0^m,30$, pour lesquelles

Fig. 9.



la partie BO de la ligne droite OC est remplacée par une courbe A_1B; les constantes α et β déduites des expériences par la méthode des moindres carrés sont spécifiées ci-dessous et applicables aux moulinets que nous allons désigner.

1° Moulinet avec compteur ordinaire d'Amsler.	$V = 0,022 + 0,250\,n$;
2° Moulinet avec compteur ordinaire d'Amsler.	$V = 0,030 + 0,237\,n$;
3° Moulinet avec compteur ordinaire de Harlacher.	$V = 0,021 + 0,304\,n$;
4° Moulinet électrique avec sonnerie de Harlacher.	$V = 0,001 + 0,257\,n$;
5° Moulinet électrique avec sonnerie de Harlacher.	$V = 0,015 + 0,246\,n$;
6° Intégrateur électrique de Harlacher	$V = 0,039 + 0,375\,n$;
7° Intégrateur électrique de Harlacher	$V = 0,046 + 0,629\,n$;

Les moulinets de 1° à 5° marchent vite, tandis que le grand appareil des n°s 6 et 7, destiné au mesurage des eaux rapides produit en raison de sa construction plus pesante, une constante α plus grande. Dans le Danube, il faisait au maximum 272 tours par minute, pour une vitesse de 2^m,896 par seconde.

Observations sur la forme des ailes du moulinet. — Un moulinet parfait serait, selon M. Harlacher, celui dont la vitesse de rotation serait exactement proportionnelle à la vitesse de l'eau, donnant par conséquent la relation $V = \beta n$, mais en réalité la constance du coefficient β n'est jamais obtenue. Pour se rapprocher le plus possible de cette constance on doit donner à chaque aileron une surface semblable à celle de la vis, faire ces ailerons aussi grands que cela est possible et les relier au moyeu par des bras très minces. Théoriquement, pour des ailerons ainsi construits en forme de vis, le coefficient β est précisément égal au pas de la vis, et la proportionnalité exprimée par la formule $V = \beta n$ est réalisée; mais en réalité les frottements des coussinets, le mouvement des bras qui coupent le fil de l'eau, etc., provoquent une variation du coefficient β et donnent à la relation la forme $V = \alpha + \beta n$. Le chemin S ou $\frac{V}{n}$ parcouru par l'eau pour un tour n'est plus égal à β mais à $\beta \times \frac{V}{V-\alpha} = S$. Or les expériences indiquent que les variations de S sont très faibles pour les ailerons construits comme il vient d'être expliqué, tandis qu'elles sont assez fortes pour des ailerons ayant la forme d'une hélice de bateau, c'est-à-dire quand ces ailerons sans bras sont unis directement au moyeu; enfin elles sont encore plus fortes pour les ailerons plans ou pour les ailerons en forme de demi-sphère creuse. La vitesse de rotation de ces dernières est loin d'être proportionnelle à la vitesse

de l'eau, de même que la vitesse de rotation de l'anémomètre de Robinson est loin d'être proportionnelle à la vitesse du vent

Calcul du débit d'un cours d'eau. — Si on trace un profil en travers normal à la direction du courant et si on représente par x et y les coordonnées d'un point de la surface mouillée pour lequel la vitesse du filet correspondant est v, le volume d'eau qui passera en une seconde par l'élément $dx\,dy$ est $v dx\,dy$, et le volume d'eau qui passera en une seconde par le profil entier sera :

$$Q = \iint v dx\,dy;$$

C'est là ce qu'on entend par débit d'une rivière pour un niveau déterminé.

Il faut observer toutefois que, pour un niveau déterminé, v n'est pas seulement fonction de x et de y, mais qu'il dépend aussi de la pente i du cours d'eau, de sorte que si cette pente varie, Q varie aussi ; mais on suppose que pendant le jaugeage le niveau et la pente une fois constatés ne varient pas.

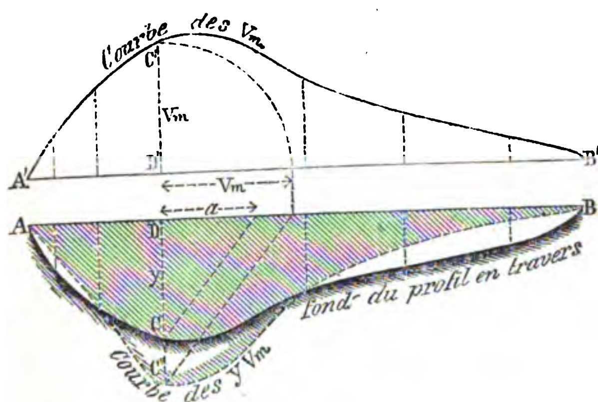
Si on imagine qu'en chaque point du profil en travers on élève sur le plan de ce profil une normale ayant une longueur égale à la vitesse en ce point, l'ensemble de ces normales figurera un volume représentant exactement le débit du cours d'eau, c'est-à-dire le volume d'eau qui traverse le profil pendant une seconde.

On a vu qu'en réalité la vitesse V en chaque point est variable, même quand le niveau et la pente ne changent pas, il en résulte que la surface idéale décrite par les extrémités des normales subirait constamment une série d'ondulations : M. Harlacher admet que néanmoins le volume limité par cette surface mobile reste le même; cela ne nous paraît pas évident, et nous pensons, au contraire, que le débit peut

subir des oscillations absolument comme la vitesse en chaque point.

La définition donnée ci-dessus du débit suppose que les vitesses des divers filets sont normales au profil en travers ; or nous avons vu qu'en réalité cette hypothèse est incompatible avec l'existence des tourbillons et du mouvement oscillatoire ou pulsatoire de l'eau ; mais, ainsi que nous l'avons déjà observé, l'obliquité variable des filets ne modifie pas le débit, pourvu que l'axe du moulinet soit toujours exactement normal au profil en travers.

Fig. 10.



Ces préliminaires étant établis, le calcul du débit se fait de la manière suivante :

Le profil en travers ACB est partagé par un certain nombre de verticales suivant lesquelles on détermine la vitesse moyenne de l'eau.

Si on représente par y la longueur DC de l'une quelconque de ces verticales et par V_m la vitesse moyenne qui lui correspond, le débit élémentaire aura pour expression

$$dQ = V_m y\,dx.$$

Au-dessus du profil en travers ACB on construit la courbe A′C′B′, dont les ordonnées telles que D′C′ sont les vitesses moyennes V_m suivant les diverses verticales; Puis au moyen de cette courbe on en construit une autre AC″B, dont les ordonnées telles que DC″ sont les produits $y V_m$ ou ces produits divisés par un nombre constant a, si cela est plus commode pour le dessin de la figure.

Si on désigne par y' l'ordonnée DC″ de cette courbe, le débit élémentaire pourra se mettre sous la forme

$$dQ = y V_m dx = a \frac{y V_m}{a} dx = ay' dx,$$

et le débit total sera :

$$a \int y' dx.$$

Or l'intégrale $\int y' dx$ représente la surface de la courbe AC″B, qu'il suffira de mesurer avec le planimètre polaire (ou autrement), puis de multiplier par a, pour avoir le débit cherché suivant le profil ACB.

Le procédé de jaugeage qui vient d'être décrit repose sur la détermination de la vitesse moyenne suivant chaque verticale, et nous rappelons que cette détermination peut se faire de diverses manières, savoir :

1° En mesurant directement la vitesse en divers points de la verticale, en construisant ensuite la courbe des vitesses sur cette verticale puis en mesurant la superficie de cette courbe.

2° En employant l'intégrateur mécanique comme cela a été expliqué et en faisant une ou deux opérations suivant la verticale considérée.

3° En mesurant la vitesse en un point de la verticale placé à environ 0^m^,58 de la profondeur totale; c'est en ce point que la vitesse moyenne est sensiblement réalisée.

4° En se bornant à mesurer la vitesse à la surface au sommet de la verticale et à multiplier ensuite cette vitesse

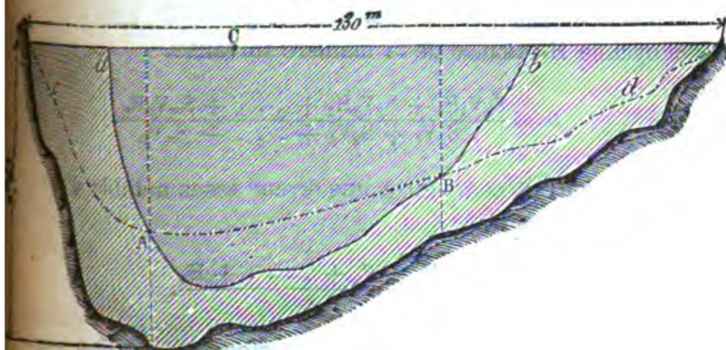
par un coefficient expérimental donnant la vitesse moyenne suivant la verticale.

Le procédé n° 2 est le plus exact et le plus expéditif.

Si on divise le débit total Q par la section $\int dx\, dy$ du profil en travers, on a la vitesse moyenne V applicable à tout le profil; un second profil en travers placé parallèlement au premier et à une distance V déterminerait un solide ayant précisément un cube égal au débit, et si on cherche l'intersection de ce second profil avec la surface idéale engendrée par l'extrémité des horizontales élevées sur tous les points du premier profil, et d'une longueur égale à la vitesse en chaque point, on aura une courbe nommée *isotache moyenne du profil*.

Enfin, si sur chaque verticale d'un profil on indique le point où est réalisée la vitesse moyenne suivant cette ver-

Fig. 11.
Profil en travers pris dans l'Elbe.



Vitesse maximum, 1,80 en C;
Courbe *a*, *b*, isotache moyenne, $1^m,17 = V$;
Courbe *c*, *d*, courbe des vitesses moyennes.

ticale, le lieu de ces points représentera une courbe des vitesses moyennes qui coupe l'isotache moyenne en deux points A et B pour lesquels la vitesse réelle est égale à la

vitesse moyenne suivant la verticale et à la vitesse moyenne suivant tout le profil (*fig.* 11.).

Dans un grand cours d'eau, et surtout à l'époque des crues, il peut être quelquefois difficile de faire un jaugeage assez rapidement pour que le niveau de l'eau puisse être considéré comme étant resté constant pendant les opérations. Supposons que pendant ces opérations on ait constaté successivement des altitudes H_1, H_2, H_3... H_n pour le niveau de l'eau.

Soit S_1 la surface sur laquelle on a opéré pendant que la hauteur était H_1.

S_2 la surface sur laquelle on a opéré pendant que la hauteur était H_2, et ainsi de suite.

Soient V_1, V_2, V_3, les vitesses moyennes correspondant à chacune de ces surfaces et à chacune de ces périodes, le débit total Q sera égal à :

$$Q = S_1V_1 + S_2V_2 + S_3V_3 \ldots + S_nV_n.$$

On admettra que ce débit correspond à une altitude moyenne H calculée de la manière suivante.

$$H = \frac{S_1V_1H_1 + S_2V_2H_2 + \ldots + S_nV_nH_n}{S_1V_1 + S_2V_2 + \ldots + S_nV_n}.$$

On pourrait commettre une erreur assez notable si on se bornait à prendre

$$H' = \frac{H_1 + H_2 + \ldots\ldots + H_n}{n},$$

parce que les changements de profondeur ont plus d'influence sur le débit vers le milieu du profil que sur le débit vers les rives.

En résumé, on admet que la hauteur H évaluée comme nous venons de le dire correspond au débit Q mesuré directement en sectionnant le profil en travers.

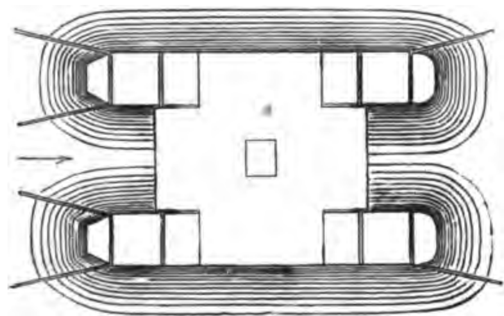
Jaugeages sur l'Elbe et le Danube. — Ce qui précède

constitue en quelque sorte la théorie des jaugeages suivant M. Harlacher, qui expose ensuite les applications faites par lui sur le Danube à Closternenbourg, sur le canal du Danube à Nussdorf, et sur l'Elbe à Teschen.

Sur le Danube, la largeur mesurée par une triangulation était de 440^{m},11 dans l'emplacement du profil de jaugeage. Une corde portée par 14 pontons fut tendue d'une rive à l'autre suivant ce profil; chaque ponton, monté par quatre hommes et un sous-officier, était ancré à 60 mètres en amont; la corde s'étant allongée par suite de sa tension en ligne droite, on fut obligé de corriger ses divisions qui n'étaient plus exactement placées; la profondeur maximum fut trouvée de 7^{m},60; pendant l'opération de mesurage des vitesses l'altitude de l'eau au-dessus du niveau moyen de l'Adriatique varia entre 157^{m},105 et 157^{m},665; le nombre des verticales de mesurage fut fixé à 15, leur écartement était mesuré soit directement, soit par une triangulation.

La figure 12 donne une esquisse du double ponton portant le moulinet, il était retenu pàr quatre ancres à l'amont

Fig. 12.



et deux à l'aval, son déplacement d'une verticale à l'autre se faisait à l'aide d'un remorqueur à vapeur.

Le tube de support du moulinet était descendu obliquement, le pied dirigé vers l'amont et maintenu par une corde

que l'on lâchait peu à peu jusqu'à ce que ce tube fût exactement vertical. Enfin la vitesse moyenne suivant chaque verticale fut mesurée, soit en s'arrêtant à divers points, soit par l'intégrateur mécanique à mouvement continu ; la manœuvre du moulinet dura du 26 avril au 6 mai 1878, le débit fut trouvé de 3 612 mètres cubes pour l'altitude moyenne de $157^m,437$ correspondant à $1^m,782$ à l'échelle de Kuchelau. La vitesse moyenne pour tout le profil était de $2^m,016$ et la vitesse maximum de $2^m,970$.

M. Harlacher donne les courbes des vitesses suivant les diverses verticales, et divers autres renseignements numériques ou graphiques que l'on pourra consulter avec intérêt dans son ouvrage ; il observe que son grand appareil intégrateur était employé pour la première fois en mai 1878, qu'il a fallu par conséquent comparer ses résultats à ceux donnés par d'autres méthodes, faire en quelque sorte deux opérations par des procédés différents, que pour cette raison et par suite de tâtonnements inséparables d'un début, le jaugeage du Danube a pris trop de temps, et qu'aujourd'hui, dans les mêmes circonstances, ce jaugeage pourrait être effectué en deux ou trois jours.

Le cadre de cette analyse succincte ne nous permet pas de suivre M. Harlacher dans le compte rendu de ses jaugeages sur le canal du Danube et sur l'Elbe.

Observations générales. — M. Harlacher termine son ouvrage par quelques indications générales que nous allons résumer.

Le nombre des verticales suivant lesquelles on observe dans un profil en travers dépend surtout de la configuration du fond ; si le fond est régulier, un petit nombre suffit, et leur espacement, qui n'a pas besoin d'être régulier, dépend précisément des principales variations du fond. Sur un profil à fond régulier d'un fleuve comme le Danube environ huit verticales doivent suffire largement.

Pour connaître la variation de la vitesse suivant une même verticale, on mesure la vitesse près de la surface (à $0^m,10$ ou $0^m,20$ au-dessous) et près du sol (à $0^m,15$ ou $0^m,20$ au-dessus, suivant le diamètre extérieur des ailes du moulinet), puis à trois et au plus cinq points intermédiaires, puis, par la loi de continuité, on obtient, si on le juge nécessaire, les points extrêmes de la courbe des vitesses, suivant la verticale.

On est averti que le moulinet a subi quelque déplacement pendant l'opération quand on n'obtient pas une courbe bien continue pour figurer les variations de la vitesse suivant chaque verticale.

L'observation de la vitesse en chaque point doit durer au moins cinq minutes afin d'obtenir la moyenne autour de laquelle la vitesse oscille continuellement.

Si le cours d'eau est peu important, l'appareil peut être établi sur une passerelle fixe établie suivant le profil.

Sur un cours d'eau plus important il faut avoir recours à un double ponton mobile que l'on peut faire mouvoir le long d'un câble transversal, ou que l'on fixe de place en place au moyen d'un nombre suffisant d'ancres, suivant la vitesse du courant et la direction du vent ; mais le procédé le plus expéditif consiste généralement à se servir d'un remorqueur à vapeur pour le déplacement du double ponton.

Il est important d'accélérer autant que possible les opérations de jaugeage, afin de n'avoir aucune variation de pente ou de niveau pendant ces opérations ; c'est surtout à cause de cela que le procédé dit d'intégration, qui donne par une seule opération rapide la vitesse moyenne suivant une verticale, est précieux.

Dans toutes les circonstances le moulinet muni d'un enregistreur graphique électrique doit être préféré à celui à compteur immergé, car ce dernier ne fonctionne pas régulièrement quand il est exposé à des vitesses considé-

rables; en outre il échappe à la surveillance car on ne suit pas de l'œil la marche du moulinet comme avec l'enregistreur électrique.

Quand la vitesse uniforme de descente de l'intégrateur est obtenue à l'aide d'une manivelle, on n'a pas besoin de faire monter d'abord l'appareil au-dessus de la surface de l'eau comme cela a été expliqué précédemment, l'intégration peut se faire en descendant ou en montant avec la manivelle; on doit la répéter deux ou trois fois et prendre la moyenne des résultats obtenus.

Sur le Danube, la vitesse verticale uniforme de l'intégrateur était d'à peu près $0^m,05$ par seconde, c'est-à-dire environ trente fois moindre que la vitesse moyenne de l'eau.

L'expérience prouve que l'intégration faite dans ces conditions donne des résultats identiques à ceux que l'on trouve en observant pendant cinq minutes en chacun des points choisis sur une verticale. Il faut en conclure que pendant la descente ou la montée de l'intégrateur les oscillations se compensent d'un point à un autre de la verticale, et n'ont pas d'influence sensible sur la vitesse moyenne de l'eau à la rencontre de cette verticale.

La longueur du tube de support est déterminée de façon que quand son extrémité inférieure touche le fond son extrémité supérieure s'élève de $1^m,50$ environ au-dessus du ponton. Le tube doit être d'autant plus résistant que la profondeur et la vitesse de l'eau sont plus grandes; il peut atteindre des profondeurs de 10 et 15 mètres; on peut alors le composer de divers morceaux qui se vissent les uns au bout des autres. Quand la vitesse atteint 2 mètres il faut renoncer à placer le tube en le plongeant simplement à la main. On est alors forcé d'amarrer son extrémité inférieure à une chaîne tenue à l'amont et de l'enfoncer peu à peu suivant une direction inclinée jusqu'à ce qu'il touche le sol; on lui rend alors la position verticale, puis

on lui adapte le moulinet, la poulie et les autres organes constituant l'appareil complet.

Mantes, le 20 septembre 1882.

Nota. — Depuis que la précédente note a été rédigée, nous avons reçu de M. l'Ingénieur Nazzani un mémoire sur la mesure de la vitesse du Tibre (*) ; on retrouve dans ce mémoire quelques-uns des procédés décrits par M. Harlacher, ainsi que d'autres détails intéressants sur la question des jaugeages.

TABLE DES LÉGENDES.

Planche 8. — *Figure* 1. — *Disposition générale de l'appareil à cloche.*

A — Tube de support.

B — Moulinet.

B_1 B_2 — Positions extrêmes du moulinet.

s — Corde support passant dans l'axe du tube A et divisée en décimètres et contimètres.

r — Poulie de renvoi de la corde *s* de support passant dans le tube.

k — Pince fixant la corde *s* et le moulinet à une profondeur voulue.

h — Anneau placé à portée de la main et portant la pince *k*.

d — Fil conducteur simple ou double, suivant que le tube lui-même est ou n'est pas employé comme conducteur.

b — Batterie.

g — Cloche.

(d_2) — Second conducteur, dans le cas ou le tube est utilisé comme premier conducteur, fermant le circuit avec le fil dd_1, supposant que *d* est simple et que d_2 n'existe pas.

(*) *Misure di velocita nel Teveré*, memoria dell' ing. Ildebrand Nazzani, professor d'idraulica nella Scuola d'applicazione per gl' ingegneri in Roma. Tip. del genico civile, via Torre Argentina nº 17.

v — Mire servant à viser la direction du profil en travers pour orienter le moulinet normalement à ce profil.

Figure 2. — Modification de la figure 1 en remplaçant, pour plus de facilité de manœuvre, la pince *k* par un tambour *t*; ce tambour est représenté en détail dans les figures 13 et 17; il est simplifié sur la figure 2, où les engrenages sont supprimés.

Figure 3. — Détails du moulinet et de son anneau.

r_1, r_2, r_3 — Rouleaux de contact entre le tube de support et l'anneau du moulinet, ces rouleaux sont pourvus de ressorts.

z — Roue dentée qui fait un tour pour 50 tours du moulinet.

f — Ressort de contact pressé par une saillie de la roue *z* à chacun de ses tours, de manière à fermer le circuit électrique et à actionner la sonnerie *g* de la figure 1.

Figure 4. — Détails du moulinet et de son anneau.

Figure 8. — Détails du moulinet et de son anneau.

Figure 9. — Coupe du tube de support et de l'anneau du moulinet, montrant la rainure longitudinale du tube et les rouleaux ou galets de contact r_1, r_2, r_3 de la figure 3.

Figure 10. — Coupe du bras et de l'axe portant le moulinet.

Figures 16 et 19. — Détails de l'anneau mobile portant la pince *k* de la figure 1.

Figures 13 et 17. — Tambour d'enroulement de la corde qui porte le moulinet.

Ce tambour est nécessaire pour le cas où l'on veut imprimer au moulinet une vitesse ascendante ou descendante uniforme pour déterminer directement la vitesse moyenne suivant une verticale; il peut être simplifié ou supprimé pour l'appareil à cloche, qui ne donne que la vitesse en un point.

Figures 14 et 15. — Modification de l'appareil de contact de la figure 3 de manière à fermer le courant à chaque tour du moulinet, au lieu de ne le fermer que tous les 50 tours comme sur la figure 3; cette disposition est nécessaire pour déterminer directement la vitesse moyenne.

d — Excentrique qui à chaque rotation vient

presser un ressort f_1 et fermer le courant.

Fig. 5, 6, 7, 11, 12, 18, 20 et 22. — *Moulinet avec roue compteur.*

Figure 5. — Cas où on se contente d'un tube de support qui n'est pas fixé au fond.

Figure 6. — Disposition générale d'un moulinet avec compteur monté sur un tube de support fixé au fond.

Ce moulinet peut être employé à intégrer la vitesse moyenne suivant une verticale en faisant descendre, puis remonter le moulinet avec une vitesse uniforme, puis en lisant sur le compteur le nombre de tours correspondant à ces deux mouvements qui se sont succédé sans interruption dans un temps connu.

Figure 11 s_1 — Corde de suspension du moulinet.

s_2 — Corde correspondant au compteur.

EF — Levier actionné par s_2, écartant ou rapprochant l'appareil compteur de l'engrenage qui le relie au moulinet.

PLANCHE 9. — *Dispositions spéciales du moulinet intégrateur* pour de grandes profondeurs et de grandes vitesses.

Figure 1. — Disposition générale du moulinet intégrateur.

C — Câble de suspension en fils de cuivre servant de conducteurs, le tube formant le second conducteur; de cette manière les fils conducteurs ne sont pas exposés au courant et ne peuvent gêner le mouvement vertical uniforme du moulinet, comme dans la figure 1 de la planche 1.

Figure 2. — Coupe du tube de support.

Figures 3, 4, 5. — Détails du moulinet.

b_{11} (*fig.* 3). — Excentrique qui à chaque rotation presse le ressort b_{12}.

b_{13} — Vis de calage destinée à adoucir le contact du ressort b_{12}, afin de ne pas gêner le mouvement de rotation du moulinet.

b_{14} — Vis touchée par le ressort b_{12} et communiquant par un fil de fer avec le câble c de suspension.

Figures 8 et 9. — Indicateur automatique établissant un courant continu dès que le disque touche fond, et empêchant par conséquent

d'enregistrer les rotations à partir de ce moment.

Figures 3 et 5. — Détails du tambour d'enroulement du câble *c* avec pendule et régulateur à ailes pour uniformiser la vitesse verticale.

e_7 — Levier d'arrêt pour arrêter la descente brusquement à volonté.

Figures 10, 11, 12, 13. — Disposition des conctacts pour enregistrer la vitesse de rotation.

Figures 14 et 15. — Tambour simplifié permettant l'intégration dans les deux sens, et que l'on se borne à tourner uniformément à la main à raison de un tour par seconde.

N° 13

NOTICE

SUR

UN NOUVEAU SYSTÈME DE ROUE HYDRAULIQUE EN DESSUS

A MOUVEMENT DIRECT

ET SUR SON APPLICATION PARTICULIÈRE AUX DISTRIBUTIONS D'EAU DES VILLES DE CETTE ET DE BÉZIERS (*)

Par M. DUPONCHEL, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Les machines à vapeur rendent à l'industrie des services que je suis loin de méconnaître ; mais peut-être en a-t-on exagéré l'importance exclusive. Par la facilité avec laquelle on peut accroître à volonté leur puissance, les établir en tous lieux, à l'état de machines fixes d'un emploi discontinu, et les adapter aux besoins de la locomotion, elles présentent des avantages incomparablement supérieurs à ceux de tous les autres moteurs. Mais lorsqu'il s'agit de développer sur place une action mécanique continue, d'une très grande puissance, les machines à vapeur, à raison de leur dépense en combustible sont infiniment moins avantageuses que les machines hydrauliques, et ces dernières devraient être préférées toutes les fois qu'il serait possible d'y recourir. A puissance égale, en effet, les machines à vapeur coûtent beaucoup plus que les machines hydrauliques en frais de premier établissement et surtout d'entretien ; mais par-

(*) Voir les planches 10 et 11.

dessus tout, elles exigent une consommation de charbon qui, pour les meilleures machines industrielles d'un emploi courant, ne va guère au-dessous de 2 à 3 kilogrammes par heure, soit près de vingt tonnes par an pour une force continue d'un cheval-vapeur. On ne saurait donc estimer à moins de 500 francs par an la valeur intrinsèque par force de cheval d'une chute d'eau permanente, dont on pourrait utiliser toute l'action mécanique.

Il est aisé de voir que, évaluées sur une telle base, nos dérivations les plus coûteuses pourraient avoir, au point de vue de l'adaptation industrielle, une valeur égale et parfois très supérieure à celle qui résulte des emplois agricoles pour lesquels elles ont été plus spécialement établies. Ainsi, pour citer un exemple, la branche mère du canal de Marseille, arrivée en vue de la mer, sur les collines qui entourent la ville, avec son débit de 10 mètres cubes à la seconde et une altitude de 150 mètres, représente une force brute disponible de 20 000 chevaux. Utilisée sur place par des récepteurs hydrauliques convenables, elle pourrait certainement produire une puissance nette de 60 p. 100, soit 12 000 chevaux de force utilisée, représentant, au prix d'achat du combustible, une valeur intrinsèque annuelle de 6 millions de francs, quatre fois supérieure au revenu total du canal qui, tous services compris, ne rapporte pas en l'état plus de 1 500 000 francs.

A plus forte raison pourrait-il en être de même pour une dérivation qui, n'ayant plus exclusivement à desservir une grande ville et sa banlieue, où presque toutes les eaux peuvent recevoir un usage de luxe, serait affectée à des localités de second ordre, ou pis encore, à des exploitations purement rurales.

La valeur de la force motrice utilisée pourrait se trouver dans ce cas égale et parfois supérieure à ce rendement agricole. Les deux services ne s'excluraient pas d'ailleurs. Ils pourraient au contraire s'entr'aider réciproquement; et

l'on conçoit que telle entreprise de ce genre, devant laquelle il serait sage de reculer si elle n'avait qu'une affectation spéciale à un seul service d'intérêt public, pût devenir réalisable et rémunératrice, si on l'adaptait à la fois à la satisfaction de tous les usages industriels ou agricoles qu'elle pourrait recevoir.

J'ai déjà traité ailleurs, et j'aurai probablement à y revenir, cette question des usages multiples, en vue desquels me paraîtraient devoir être combinées les grandes dérivations d'eau courante. Ce n'est pas le lieu d'insister sur ces considérations théoriques, dans un recueil qui n'admet guère que l'exposé de faits purement pratiques. Ce préambule n'a donc d'autre objet que de justifier le but essentiel de cette notice ; je me propose moins, en effet, d'y rappeler l'importance, à mon avis trop négligée, des moteurs hydrauliques en général, que de signaler les avantages pratiques d'une disposition particulière que j'ai appliquée à la construction des roues à augets, ou roues en dessus.

J'ai cru devoir toutefois profiter de cette occasion, qui ne se représentera peut-être plus, pour entrer dans quelques détails techniques sur l'entreprise de la distribution des eaux de Cette, au sujet de laquelle j'ai eu à m'occuper accessoirement de cette question spéciale de mécanique industrielle. Ce n'est pas que les travaux dont je vais essayer de rendre compte aient eu en eux-mêmes rien de bien remarquable, et qu'il ne soit pas facile de trouver ailleurs, dans les descriptions d'ouvrages plus récents, des types très supérieurs à ceux que je pourrai produire. Mais par cela même que les travaux dont j'ai à parler remontent à une époque déjà reculée, ils ont été sanctionnés par l'épreuve du temps. Il me sera dès lors permis de présenter comme positives et vérifiées par l'expérience, quelques assertions théoriques qui pouvaient paraître douteuses ou controversables, quand je les formulai pour la première fois.

L'étude qui va suivre se divise donc en deux parties distinctes comprenant : l'une, quelques renseignements techniques sur la distribution des eaux de Cette ; l'autre, certaines considérations générales sur le rendement des machines hydrauliques et des détails plus particulièrement spéciaux sur le nouveau système de roue en dessus dont j'ai surtout pour but de recommander l'emploi.

§ 1er. — *Description des travaux de la distribution des eaux de Cette.*

La ville de Cette est adossée au versant oriental d'une montagne, véritable île rocheuse, enchassée dans l'étroite plage sablonneuse qui sépare la Méditerranée des lagunes littorales du Languedoc.

Cette ne dispose d'aucune ressource naturelle en eaux potables. Quelques maisons particulières étaient assez mal desservies, il y a vingt ans, par un petit nombre de citernes d'un approvisionnement fort incertain sous un climat très sec ; mais la majeure partie de l'alimentation provenait de la vente au détail d'une eau magnésienne, de très mauvaise qualité, qu'on allait chercher avec des tonneaux dans des puits de terre ferme, à une distance de plusieurs kilomètres.

Les relevés officiels constataient à cette époque que la consommation journalière, à peu près égale à celle de l'équipage rationné d'un navire en mer, ne dépassait pas trois litres par tête d'habitant.

Une telle situation était intolérable pour une ville qui comptait déjà plus de 20.000 âmes ; et depuis longtemps les administrations locales se préoccupaient d'y mettre un terme.

Entre les diverses combinaisons proposées, la plus simple et la plus naturelle, consistait dans l'adduction de la source d'Issanka qui naissait sur le bord de la petite rivière de la

Vène, à une distance de 10 kilomètres. Les eaux de l'Issanka étaient d'une excellente qualité, parfaitement limpides, relativement fraîches.

La hauteur de la source (10 *mètres environ au-dessus du niveau de la mer*) n'était pas sans doute suffisante pour qu'on pût la dériver et surtout l'utiliser par sa pente naturelle. Il était donc nécessaire de recourir à des machines élévatoires ; mais le même inconvénient se présentait pour tous les projets concurrents.

Une seule considération faisait hésiter le conseil municipal : la crainte de ne pas avoir un approvisionnement assuré par une source dont le débit, très variable, diminuait beaucoup tous les étés, et qui, même si l'on devait s'en rapporter aux renseignements locaux, aurait complètement tari dans les années de grande sécheresse.

Un examen attentif de la question me fit reconnaître que ces craintes n'avaient rien de fondé, et me permit de rassurer complètement les intéressés.

La source de l'Issanka était captée dans un petit bassin en maçonnerie, dont le déversoir, qui servait à en faire le jaugeage, se trouvait à un mètre environ au-dessus du bief très voisin de la rivière de Vène, tendue elle-même à un niveau constant, par le barrage de retenue du moulin de Roucayrols, qui se trouvait à 500 mètres en aval.

Or, il était facile de reconnaître que cette source principale et extérieure, la seule à laquelle on eût prêté attention, n'était que le trop plein d'une nappe d'eau plus considérable qui se faisait jour, soit dans les profondeurs du bief, soit dans les prairies riveraines, par d'autres sources dont les variations de débit devaient être dans leur ensemble infiniment moindres que celles de l'évent supérieur, dont l'écoulement pouvait jusqu'à un certain point s'arrêter sans que celui des orifices supérieurs fût notablement réduit.

Cette appréciation était parfaitement confirmée et vérifiée

par l'ensemble de tous les renseignements recueillis. D'une part on savait en effet que tous les ans, à l'époque de l'étiage, le lit de la Vène se trouvait complètement à sec en amont de la retenue du moulin, et que le bief ne pouvait être alimenté en ce moment que par ses propres sources de fond jointes à l'Issanka.

Or, les enquêtes s'accordaient à établir que pendant les plus grandes sécheresses, alors même que la source principale de l'Issanka avait complètement tari, le moulin n'avait jamais complètement cessé de fonctionner par de rares éclusées. Le moteur de ce moulin étant d'ailleurs une roue en dessus dont le niveau d'adduction différait peu de la crête du barrage; on devait en conclure que le plan d'eau de la retenue ne s'était jamais abaissé au-dessous de ce niveau.

Sans tenir compte du débit des éclusées dont avait pu disposer le meunier, on pouvait donc avoir la certitude que, dans les plus grandes sécheresses, le débit des sources de fond réunies avait dû tout au moins compenser les nombreuses pertes d'eau qui en tout temps s'échappaient soit à travers les mauvaises maçonneries de parement, soit par-dessous les fondations du barrage; pertes qui constituaient à l'aval un filet d'eau permanent dans lequel toutes les populations des villages voisins venaient laver leur linge; dont le débit sensiblement constant et facile à jauger n'était guère inférieur à 100 litres par seconde, soit 9 000 mètres cubes d'eau en vingt-quatre heures.

Il y avait donc là un minimum de débit parfaitement assuré, à la condition d'opérer la dérivation, en temps de grande sécheresse, au niveau du bief inférieur, sans qu'il fût même nécessaire de perdre la hauteur de chute existant entre les deux biefs, en temps de débit normal.

On pouvait en effet placer une conduite de puisage dans le bief supérieur, et pourvu que son orifice d'aspiration se trouvât au-dessous du bief inférieur, on avait la certitude d'attirer à soi toute l'eau disponible; les filtrations à travers

le barrage devant s'arrêter d'elles-mêmes, à mesure que le niveau de l'approvisionnement s'abaisserait dans le bief.

Cette disposition n'avait pas seulement pour but d'utiliser la hauteur naturelle de la retenue ; elle avait en outre l'avantage de ne rien changer, sans une nécessité absolue, à la situation des populations rurales, qui en cas de surabondance pourraient continuer à utiliser le trop plein des eaux pour leurs usages domestiques.

La retenue du moulin de Roucayrols devant être conservée en principe, il n'en était pas moins nécessaire de se ménager le moyen de ne jamais prendre que des eaux de source vierges de tout mélange avec les eaux stagnantes du bief. A cet effet on a construit une galerie de captage, en maçonnerie, qui, partant d'un petit réservoir accolé dans la culée droite du barrage, a été continuée en remontant la rive jusqu'à la rencontre du bassin de la source principale de l'Issanka, le radier de cette galerie étant maintenu au-dessous du niveau du bief inférieur.

Plusieurs sources importantes, dont les unes avaient issue directe dans la rivière, dont les autres bouillonnaient, comme l'Issanka, dans des mares naturelles existant dans les prairies riveraines, ont été captées en route par des galeries transversales, débouchant dans l'artère maîtresse. On a toutefois établi aux points de branchement, des clapets à charnière s'ouvrant en dedans de la galerie, de telle sorte que les sources secondaires, et accessoirement les eaux du bief lui-même, ne pénétrassent dans cette galerie que lorsqu'elles devraient suppléer à l'insuffisance accidentelle de la source principale, qui en temps normal devait seule fournir l'approvisionnement.

Les travaux de captage projetés, tels que je viens de les indiquer comme exécutés, nous avions à nous demander quel serait le meilleur système à adopter pour l'adduction des eaux.

J'ai étudié et présenté à cet effet, à l'état d'avant-projets,

trois combinaisons différentes. Dans la première, qui a été adoptée, les machines élévatoires devaient se trouver à la source même et les eaux refoulées jusqu'au lieu d'emploi dans des conduites fermées. Dans les deux autres systèmes, les machines devaient se trouver à Cette, où les eaux, prises à la sortie de la galerie de captage, auraient été amenées en vertu de leur pente naturelle, soit par un siphon continu sous pression, soit par une conduite mixte formée d'un aqueduc à air libre en terre ferme et d'un siphon métallique à la traversée des étangs, en avant de Cette.

De ces trois combinaisons, je crus d'abord devoir exclure la dernière, à raison de la nature des eaux de l'Issanka, qui, comme toutes celles qui proviennent des terrains calcaires, contiennent en proportion notable du carbonate de chaux maintenu en dissolution par un excés d'acide carbonique.

On sait en effet que la lente évaporation de cet acide au contact de l'air détermine la précipitation graduelle du calcaire, qui ne tarde pas à tuffer les aqueducs et les conduites qui leur font suite. J'avais sous les yeux l'exemple des eaux de Montpellier amenées par un aqueduc à air libre, d'une quinzaine de kilomètres, dans lequel les dépôts commencent à se former dès le sixième kilomètre et se continuent dans toutes les conduites du réseau de distribution. Je devais d'autant plus me préoccuper de cet inconvénient que l'analyse chimique avait indiqué une identité complète entre les eaux de l'Issanka et celles de Montpellier prises à leur source.

Je pensai qu'on pourrait remédier au mal en supprimant sa cause essentielle : en s'imposant l'obligation de maintenir les eaux de Cette dans des conduites fermées, sous pression, avec le moins de contact possible à l'air libre. J'avais pour moi l'induction de la théorie; contre moi, je dois l'avouer, l'opinion de la seule autorité scientifique qu'on pût consulter à cette époque, l'ouvrage de Genieys, qui, s'étant posé la même question, avait cru pouvoir affir-

mer que la précaution à laquelle j'avais songé était inefficace. Les raisons données à cet égard ne me paraissaient pourtant pas suffisamment probantes, et je me résolus à tenter l'expérience et à exclure tout aqueduc à air libre des conduites d'amenée.

Restait donc à opter entre l'établissement des machines à la source ou à Cette ; et ce n'est pas sans quelque hésitation que je pris un parti à cet égard.

L'adduction de l'eau par siphon direct, à la condition de lui donner un grand diamètre (j'avais proposé $0^m,60$), aurait permis d'amener au besoin toutes les eaux de la source à la ville même, avec le minimum possible de déperdition de charge, ce qui aurait peut-être permis d'en utiliser une partie à leur hauteur naturelle, pour le service des quartiers bas. En outre, le service des machines placées dans la ville, aurait pu être plus aisément dirigé et surveillé.

En revanche, me trouvant très limité par les ressources financières de la commune, je ne pouvais projeter une conduite de grand diamètre que dans des conditions très économiques, en ciment par exemple, mode de construction que son peu de charge justifiait sans doute, mais qui à cette époque n'avait pas été sanctionné par l'expérience.

En plaçant les machines élévatoires à la source, nous avions en outre l'avantage de pouvoir poser les conduites de refoulement sous la route, sans aucune expropriation ou achat de terrain, et je prévoyais enfin la possibilité d'utiliser prochainement la force motrice intermittente du moulin que la ville venait d'acquérir.

Ces diverses considérations déterminèrent mon choix et celui de l'administration locale, pour cette dernière combinaison.

Un siphon en tuyaux de fonte posé dans le lit de la rivière ramène sur sa rive gauche les eaux de la galerie de drainage. Des pompes mues par une double machine à vapeur les refoulent dans une conduite également en fonte.

qui se poursuit jusqu'à Cette en suivant toujours le tracé de la voie publique.

Une première section de refoulement proprement dit, d'un diamètre de $0^m,325$, s'élève d'abord en rampe à peu près continue, d'une longueur de 3 kilomètres, sur un plateau culminant où elle communique par un branchement à angle droit avec le fond d'un premier réservoir régulateur de 4 200 mètres, dont le niveau de remplissage peut varier de la cote 40 à 45 mètres au-dessus du niveau de la mer.

La conduite d'amenée, d'un diamètre de $0^m,30$ seulement, se poursuit en prolongement de celle de refoulement par un siphon de 8 kilomètres de longueur qui, traversant la ville dans sa plus grande étendue et servant d'artère principale à la distribution intérieure, vient déboucher au fond d'un second réservoir de 3 000 mètres cubes adossé à la montagne, dont le niveau de remplissage peut varier de la cote 30 à 35 mètres.

La différence de radier à radier n'étant que de 10 mètres entre les deux réservoirs, la charge réelle en vertu de laquelle fonctionne la conduite d'amenée paraîtrait ne devoir varier que de 5 à 15 mètres suivant l'état de remplissage relatif des deux réservoirs. C'est ainsi que les choses se passent de nuit, quand la consommation est peu active et que le réservoir de Cette peut se remplir. Mais dans la journée, les deux réservoirs se vidant à la fois, chacun d'eux se trouve desservir en réalité une zone différente, et la charge en vertu de laquelle s'opère la vidange du premier réservoir peut notablement s'accroître. En fait, le diamètre de la conduite n'ayant été calculé que pour un débit uniforme et journalier de 2 500 mètres cubes, qui paraissait largement suffisant pour tous les services à l'origine, la distribution n'en a pas moins marché convenablement pour toutes les exigences d'une consommation irrégulière, pouvant atteindre en somme 3 500 mètres cubes en vingt-quatre heures,

Dans ces derniers temps on est même allé au delà ; mais dans ces conditions excessives l'égale répartition n'a plus été assurée. La ville basse, desservie la première, attirant à elle non seulement les eaux du premier réservoir, mais celles du second, les quartiers hauts ont cessé d'être desservis, bien que les orifices d'écoulement des fontaines et prises d'eau, y soient à un niveau notablement inférieur à celui de la réserve variable existant dans ce second réservoir.

Les machines élévatoires et la conduite de refoulement peuvent, à la rigueur, suffire encore aux exigences sans cesse croissantes de la consommation ; mais pour assurer l'adduction de l'eau avec une pression suffisante, il sera indispensable d'établir une conduite supplémentaire de communication entre les deux réservoirs ; et c'est ce dont s'occupe en ce moment l'administration municipale.

Je ne crois pas nécessaire d'entrer dans des détails sur les machines élévatoires et les autres travaux que je viens d'énumérer. Très simples, comme on le voit, dans leur principe, ils n'ont présenté aucune particularité remarquable, sauf peut-être l'établissement des siphons métalliques qui ont servi à la traversée des principaux canaux du port de Cette, tant sur l'artère principale que sur les conduites secondaires de la distribution. Les siphons ont tous été construits et immergés d'une seule pièce. Le premier posé avait été établi à part, en tôle rivée, et amené comme flotteur jusqu'au lieu d'emploi. Les autres, et dans le nombre le plus important, qui a plus de 40 mètres de longueur horizontale, avec une flèche verticale de 9 mètres, ont été édifiés sur place avec des tuyaux ordinaires, à emboîtement, ajustés sur un radeau et lentement immergés dans la fouille destinée à les recevoir. Une fois en place leurs joints ont été revus et matés au scaphandre et les siphons soumis à l'épreuve de la presse hydraulique, avant de recevoir la double enveloppe de mastic bitumeux et de béton destinée

à les protéger contre l'action oxydante de l'eau de mer.

L'expérience a complètement confirmé mes prévisions sur l'efficacité des mesures que j'avais adoptées pour prévenir le tuffage.

Depuis près de vingt ans que les conduites fonctionnent on n'a jamais eu à constater la moindre trace de dépôt de tuf dans chacune d'elles. L'eau fournie par la distribution se maintient limpide, sans altérer la transparence des carafes, comme le fait celle de Montpellier.

L'efficacité des mesures adoptées peut donc être considérée comme un fait acquis, et cela d'autant plus que, bien que renfermées sur tout le trajet dans des conduites fermées, les eaux n'en restent pas moins partiellement exposées au contact de l'air à la surface des deux réservoirs.

Un second fait d'expérience que je ne crois pas inutile de signaler est relatif à la question de l'air qui pourrait accidentellement s'accumuler dans certaines parties des conduites. J'avais cru devoir prendre quelques précautions particulières à cet égard dans une partie du grand siphon reliant les deux réservoirs qui, à la traversée de la plage et des étangs, sur une longueur de 4 ou 5 kilomètres, est posé sous l'accotement d'une route parfaitement horizontale à une faible hauteur au-dessus de la mer et des infiltrations naturelles. Dans ces conditions, il n'était évidemment pas possible de donner à la conduite une pente continue, appréciable dans un sens ou dans l'autre; et il était à craindre que par le fait de la pose et des tassements inégaux du sol, il ne se produisît une série d'ondulations qui en accumulant l'air dégagé dans leurs parties hautes auraient pu gêner l'écoulement de l'eau. J'avais d'autant plus d'appréhensions à cet égard que le refoulement de l'eau étant régularisé au départ par le jeu d'un réservoir d'air comprimé, il était à présumer que cette eau serait exceptionnellement chargée de gaz.

Dans cette prévision je crus utile d'accentuer artificielle-

ment les ondulations qu'il était impossible d'éviter dans la conduite, en substituant au profil horizontal, une série de lignes brisées présentant une succession de pentes et contre-pentes, aux divers sommets desquelles je ménageai une tubulure munie d'un robinet de vidange, que l'on pouvait manœuvrer à la main, pour assurer le dégagement de l'air, et auquel on aurait au besoin donné un écoulement continu par une borne-fontaine si la chose avait été reconnue nécessaire.

Cette précaution s'est en fait trouvée complètement inutile. Non seulement il ne se produit jamais de dégagement d'air dans la partie basse des siphons pendant le fonctionnement continu de la conduite; mais la pression de l'eau suffit même pour dissoudre l'air existant dans les renflements des tuyaux pendant le remplissage. Cependant, comme je m'y attendais, l'eau dissout au départ une quantité de gaz considérable au contact du réservoir d'air comprimé dont il faut fréquemment renouveler la charge. La présence de cet air accumulé se manifeste même à l'arrivée par un phénomène que je n'avais pas remarqué ailleurs. L'eau qu'on vient de puiser à un robinet de distribution, d'apparence très limpide au moment où on la reçoit dans une carafe, perd tout d'un coup sa transparence par le fait du dégagement d'une infinité de petites bulles d'air produisant l'effet d'un trouble nuageux qui se dissipe peu à peu.

De ce fait on peut conclure que dans toutes les parties d'un siphon où l'eau est soumise à une pression égale ou supérieure à celle qu'elle avait au départ, il n'y a point à se préoccuper de la possibilité d'accumulation de l'air dans les renflements de la conduite. Loin de dégager les gaz qu'elle peut contenir en dissolution, l'eau dissoudra rapidement ceux avec lesquels elle se trouvera en contact. Toute ventouse sera donc inutile dans ce cas.

Il en sera tout autrement au contraire, si le renflement

de la conduite correspond à une pression moindre que celle du point de départ. J'en ai eu la preuve dans une circonstance que je ne crois pas inutile de rappeler.

J'ai déjà dit que le premier réservoir se trouvait au sommet d'un plateau culminant, à partir duquel la conduite, jusque-là ascendante, commence à descendre vers la ville de Cette; le réservoir servant en réalité de ventouse pour l'air qui pourrait se dégager, en même temps que de bassin de réserve dont le niveau s'élève ou s'abaisse, suivant que la consommation est inférieure ou supérieure au produit des machines.

La route qui suit la conduite se trouve sensiblement horizontale sur une longueur d'un kilomètre au moins au delà du réservoir, après quoi elle redescend brusquement vers Cette avec une pente de $0^m,03$ au moins.

J'avais à prévoir, et cette fois non sans raison, qu'une très grande accumulation d'air devrait se produire sur le plateau culminant, tant par le fait de diminution de pression de l'air en temps de marche normale, que par l'évacuation de la totalité de l'air compris dans le tuyau supérieur, au moment du remplissage.

Pour éviter ces inconvénients et assurer en outre un parfait fonctionnement du siphon en tout état de remplissage du bassin, je pensai qu'il serait utile de forcer la pente longitudinale au départ du réservoir, et de remonter ensuite le profil de manière à déterminer, au lieu de brisement de la pente descendante, un point haut artificiel au-dessus duquel j'adaptai une ventouse à air libre, formée d'un simple tuyau de fonte vertical s'élevant à une hauteur égale à celle du réservoir. Je crus toutefois devoir me ménager la possibilité de fermer cette ventouse en prévision des expériences qu'il avait été question de faire pour refouler l'eau directement dans Cette à une hauteur supérieure à celle du réservoir. A cette intention je fis donc placer un robinet à la ventouse; étant bien entendu qu'il

devrait toujours rester ouvert, ou du moins n'être jamais fermé que sur mon ordre exprès. L'appareil ainsi disposé se comporta de la manière la plus satisfaisante. L'énorme quantité d'air qui se dégageait par la ventouse au moment du remplissage, en démontrait à la fois l'utilité et l'efficacité, et l'on put d'ailleurs constater que le siphon fonctionnait avec une parfaite régularité, vidant au besoin le réservoir jusqu'à sa dernière goutte.

Les choses marchaient ainsi depuis longtemps, un an peut-être, lorsqu'un jour je fus prévenu que le débit de la conduite d'amenée avait brusquement diminué et allait toujours s'amoindrissant sans qu'on pût s'en expliquer la raison. Je me rendis immédiatement sur les lieux, où je ne pus d'abord que constater le fait sans en découvrir la cause. Je pensais bien à la ventouse supérieure, mais comme le robinet n'en avait jamais été fermé, je dus tenir pour exacte l'assertion du fontainier qui m'affirmait n'y avoir pas touché. Un moment je pensais à une obstruction accidentelle, et vainement je m'efforçais d'en deviner la nature et d'en trouver l'emplacement.

Une chasse énergique dans laquelle j'avais vidé le réservoir de Cette n'eut d'autre résultat que de rendre plus complète l'obstruction apparente de la branche opposée, qui ne fournissait plus d'eau, bien que le réservoir du sommet fût plein à déverser.

En attendant, la nuit était venue, et je ne savais plus à quel parti me résoudre pour empêcher la ville d'être privée d'eau le lendemain, quand je me décidai, de guerre lasse, à envoyer un agent spécial vérifier la ventouse supérieure. En dépit de l'assertion contraire du fontainier, le robinet s'en trouvait bel et bien fermé, et il suffit de le rouvrir pour rétablir instantanément le service du réservoir dans toute sa régularité.

Tels sont les faits pratiques les plus saillants concernant la distribution des eaux de Cette qu'il m'a paru utile de

rappeler, avant d'aborder la question importante des machines hydrauliques.

§ 2. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES DIVERS SYSTÈMES DE ROUES HYDRAULIQUES USITÉES.

Les eaux motrices peuvent agir de deux manières différentes dans les moteurs hydrauliques, par leur poids, ou par leur vitesse acquise.

Dans le premier cas, si P est le poids de l'eau débitée par seconde, H la hauteur de chute, le travail utilisé T_u sera théoriquement égal à

$$T_u = PH, \qquad (1)$$

abstraction faite des frottements et des pertes d'eau.

Dans le second cas, si V est la vitesse d'introduction de l'eau sur la roue provenant d'une hauteur de charge $H = \frac{V^2}{2g}$, le travail utilisé sera égal à

$$T'_u = \frac{P}{g}(V - v)v,$$

expression dans laquelle, $\frac{P}{g} = m$ représente la masse de l'eau agissant par seconde, $V - v$ la vitesse relative avec laquelle cette masse m agit sur la roue, v l'espace parcouru par le point d'application de la force $m(V - v)$.

Le travail utilisé variera suivant les rapports de V et de v, mais sa plus grande valeur correspondra à $dT'u = 0$, soit $V - 2v = 0$,
d'où

$$T'_u = \frac{PV^2}{4g} = \frac{PH}{2}. \qquad (2)$$

Ainsi donc, le travail utilisé sera théoriquement égal au travail moteur pour les roues dans lesquelles l'eau n'agit

que par sa pesanteur, que j'appellerai *roues à poids;* il ne peut être supérieur à la moitié de ce travail moteur dans les *roues à choc,* où l'eau agit exclusivement par sa vitesse.

Les roues volantes dont les aubes plongent dans un courant indéfini, et les rouets à axe vertical, peuvent être considérés comme des types complets de roues à choc.

Je n'insisterai pas sur les premières qui, ne pouvant s'appliquer que dans quelques cas particuliers, exigent de très grandes dimensions pour ne produire qu'une puissance minime.

Les rouets à axe vertical sont d'un usage plus général. Malgré l'infériorité de leur rendement réel qui reste toujours bien au-dessous du rendement théorique de 50 p. 100, ces roues peuvent être employées avec avantage, quand on dispose d'une force motrice surabondante et d'une grande hauteur de chute.

On doit remarquer d'ailleurs que l'effet utile des roues à choc se maintient assez près du maximum théorique, bien que les vitesses V et v varient dans des limites assez étendues; car si l'on considère les deux facteurs $(V-v)$ et v comme les deux segments d'un même diamètre horizontal V, on voit que le produit représenté par le carré de la perpendiculaire verticale reste sensiblement égal à $\frac{V^2}{4}$, bien que le point de division des deux segments s'écarte notablement du centre de la circonférence.

A part ce double avantage, de pouvoir utiliser de grandes hauteurs de chute et de se prêter à une très grande variation de vitesse, tant de la roue que de l'eau motrice, les rouets ont le mérite d'être peu volumineux, d'une installation facile et peu coûteuse, et de s'adapter à une transmission directe du mouvement aux meules des moulins à blé, dans lesquels ils sont surtout utilisés.

En dehors toutefois de ces circonstances particulières qui

peuvent motiver, soit l'emploi des rouets primitifs, soit celui des turbines à axe vertical qui en sont un perfectionnement, on a généralement tout avantage à employer des moteurs dans lesquels l'eau agit surtout par son poids, bien qu'il ne soit pas possible de réaliser cette condition d'une manière absolue. Dans toute roue à poids, en effet, il doit toujours y avoir une déperdition de travail provenant sinon du choc, tout au moins de la vitesse que l'eau doit acquérir en entrant sur la roue et qu'elle conserve à sa sortie.

Si nous appelons toujours H la hauteur de chute totale comprise entre le bief supérieur, où l'eau est supposée en repos, et le bief inférieur, nous pourrons décomposer cette valeur H en deux autres, dont l'une h correspondra à la hauteur partielle pendant laquelle l'eau n'agira que par son poids, et la seconde h'A représentera la charge nécessaire pour imprimer à l'eau la vitesse d'introduction V sur la roue.

On peut poser d'une manière générale

$$T_u = P\left(h + \frac{(V-v)}{g}v\right). \qquad (3)$$

Admettons d'ailleurs que l'eau, une fois sur la roue, ne la quitte plus qu'au niveau du bief inférieur, où elle conservera la vitesse v, on aura $H=h-h'$, et l'expression précédente deviendra

$$T_u = P\left(H - h' + \frac{\sqrt{2gh'} - v}{g}v\right). \qquad (4)$$

Le maximum de cette expression pour une vitesse donnée v de la roue sera obtenu en égalant à zéro la dérivée prise par rapport à h'A ce qui nous donnera l'équation :

$$-1 + \frac{v}{\sqrt{2gh'}} = 0 \quad \text{d'où} \quad v' = \sqrt{2gh'},$$

et

$$T_u = P(H - h') = P\left(H - \frac{v'^2}{2g}\right). \qquad (5)$$

Le travail théorique ne sera donc jamais rigoureusement égal au travail moteur. Il en différera d'autant moins que la vitesse de la roue sera plus faible. En d'autres termes, le maximum correspondra au cas où l'eau arrivera sur la roue avec une vitesse égale à celle de cette roue, relativement nulle, par suite sans choc. La déperdition de travail théorique proviendra donc exclusivement de celui qui est nécessaire pour imprimer à l'eau cette vitesse d'introduction; et encore peut-on parfois restituer au moteur une partie de la force perdue, en utilisant le ressaut dans les roues de côté à grande vitesse.

Bien qu'il ne soit pas rigoureusement possible de trouver une combinaison qui permette d'annuler la vitesse d'introduction, qui doit être au moins égale à celle de la roue, et qu'il y ait toujours une déperdition de travail théorique dans les roues à poids, on voit que cette déperdition peut être très faible, et l'expression (5) nous indique qu'elle le sera d'autant plus que la vitesse d'introduction ne dépassera pas celle de la roue.

Ce principe a été très heureusement appliqué dans la roue Sagebien, d'invention récente et qui fonctionne d'une manière satisfaisante dans un grand nombre d'usines.

Mais les conditions de marche de cette roue exigeant de lui donner une hauteur d'aube égale ou supérieure à celle de la chute totale, ses dimensions doivent être très considérables et l'on ne saurait pratiquement l'appliquer pour des hauteurs de chute dépassant 1 mètre, ou $1^{m},50$ au maximum.

Pour toutes les hauteurs de chute supérieures, on est donc obligé de recourir aux roues de côté, et, lorsque la hauteur de chute le permet, aux roues en dessus. Ces dernières roues sont, en effet, celles qui paraissent le plus se rapprocher des conditions du maximum de rendement, mais elles ne peuvent guère s'appliquer à des hauteurs de chute de moins de 3 mètres; et de plus, dans les conditions actuelles de leur établissement, elles sont soumises au double

inconvénient, d'avoir un mouvement inverse qui ne leur permet pas de plonger dans le bief inférieur, et de laisser déverser une partie de l'eau contenue dans les augets, avant qu'ils aient atteint le bas de leur course.

Pour obvier au premier inconvénient on est obligé de maintenir le dessous de la roue au-dessus du niveau des eaux moyennes du bief inférieur, ce qui peut faire perdre une fraction de chute notable en temps d'étiage et n'empêche pas la roue d'être arrêtée par le patouillement quand les eaux sont fortes.

Pour remédier au déversement on est obligé de réduire la section des augets, de ne les remplir qu'en partie et de limiter beaucoup la vitesse de rotation, ce qui ne permet pas aux bonnes roues en dessus de débiter plus de 100 à 120 litres d'eau par mètre de largeur.

ROUE DE CETTE.

Tels sont les inconvénients généraux des roues en dessus habituellement usitées dont j'eus à me préoccuper quand je songeai à rétablir le moteur hydraulique du moulin de Roucayrols, acheté par la ville de Cette, pour venir en aide au travail des machines à vapeur déjà construites.

Cette force hydraulique est, je l'ai déjà dit, fort intermittente. Elle est à près nulle quand le bief n'est alimenté que par les sources de l'Issanka en temps de sécheresse, mais pendant la période qui suit la saison des pluies, la rivière prend elle-même un débit très variable sans doute, mais qui, en temps moyen, peut être considéré comme se maintenant entre 6 et 800 litres pendant près de six mois.

L'utilisation de cette force me paraissait devoir être fort avantageuse, moins encore peut-être par l'économie considérable de combustible qu'elle réaliserait, que par la facilité qu'elle donnerait de mettre au moins une des deux machines à vapeur en chômage pendant tout le temps nécessaire

aux réparations majeures qu'elles devraient forcément nécessiter de temps à autre. Ces considérations avaient beaucoup contribué à fixer ma détermination quant à l'installation des machines élévatoires à la source même. Elles ne parurent pourtant pas convaincantes à l'unanimité du conseil municipal, dont quelques membres partageaient ce préjugé, commun du reste à bien des personnes plus éclairées, qui s'obstinent à considérer les machines hydrauliques comme des moteurs démodés ne pouvant rivaliser en aucun cas avec les machines à vapeur.

Je trouvai donc peu d'empressement à apprécier les avantages du travail complémentaire que je proposais, et pour le faire accepter je dus chercher à restreindre le plus possible le chiffre des dépenses, en m'imposant l'obligation de conserver toutes les constructions du moulin existant ; me bornant à utiliser, sinon l'ancien moteur en bois, qui était hors de service, tout au moins la halle qui le contenait et jusqu'à un certain point son coursier. Ce moteur était une roue en dessus de $3^m,20$ de largeur entre les couronnes, qui pouvait au maximum utiliser 400 litres d'eau par seconde avec une chute de $2^m,80$ et un rendement de 60 p. 100, représentant une force effective de 8 chevaux environ, qui suffisait à la marche de deux paires de meules de force moyenne existant dans le moulin, mais qui était inférieure à la moitié de la force utile produite par les deux machines à vapeur.

Je me préoccupai donc d'accroître cette force par tous les moyens possibles, et en premier lieu en augmentant le volume d'eau consommé, sans avoir à élargir le coursier de la roue, ce que l'exiguïté du local dont je disposais ne pouvait me permettre. Pour obtenir ce résultat, je songeai de prime abord à accompagner la roue à l'aval et jusqu'au bas de sa course par un coursier métallique s'opposant au déversement de l'eau par les augets. Mais lorsque je voulus chercher dans ce système le moyen d'assujettir soli-

dement la base de ce coursier, sans obstruer le fuyant de la roue, je fus naturellement amené par la disposition des lieux à réaliser une amélioration bien autrement importante, et cependant si simple dans son principe, qu'il est étonnant qu'on n'y ait pas eu recours plus tôt.

Comme on le voit à l'examen du plan, la roue primitive que la nouvelle a remplacée n'avait pas été établie, par son constructeur, dans le sens général des canaux d'amenée et de fuite, mais normalement à leur direction commune.

Cette disposition peu habituelle nous suggéra naturellement l'idée, je suis heureux d'en rendre en partie le mérite à mon collaborateur, M. le conducteur Valez, de faire subir au canal de fuite la même déviation qui avait été donnée au canal d'amenée, en le faisant passer sous ce dernier, pour ressortir sur la façade latérale du moulin, au delà de laquelle il se coude à angle droit pour reprendre sa direction naturelle, parallèlement à l'écoulement général de la vallée.

Cette disposition si simple n'avait pas seulement pour résultat de me donner toute facilité pour établir un coursier accompagnant la roue au plus bas de sa course, puisqu'il pouvait se prolonger jusqu'à l'aplomb de l'arbre ; mais, ce qui était beaucoup plus important, elle substituait le mouvement direct dans le sens du courant, au mouvement inverse des roues ordinaires, ce qui permettait par suite d'établir une roue plongeante, utilisant en tout temps la hauteur réelle de la chute variable, sans aucune déperdition, pouvant même continuer à fonctionner, bien que noyée, en temps de crue.

Cette heureuse disposition faisant disparaître à la fois tous les inconvénients reprochés au système habituel des roues en dessus, me laissait entrevoir la possibilité, qui s'est réalisée, de doubler et au delà la puissance de la roue que je voulais remplacer, sans augmenter ses dimensions en largeur, et de pouvoir comme résultat final suppléer non

seulement à l'une des machines à vapeur, mais aux deux à la fois quand le débit de la rivière serait suffisant.

Les dessins joints à cette notice donnent des indications assez complètes sur l'ensemble des dispositions adoptées, pour qu'il ne me paraisse pas nécessaire d'y ajouter de très grands détails.

La roue hydraulique, construite en fer et tôle, a une largeur de 3m,20 entre les couronnes et une hauteur de 3 mètres. Elle est à mouvement direct, exactement emboîtée sur toute la surface postérieure ou descendante sur laquelle agit l'eau, par un coursier continu, en tôle dans la partie supérieure, en maçonnerie dans sa partie inférieure.

L'enveloppe a même été après coup complétée par un recouvrement en tôle mince sur la face antérieure ou ascendante, pour éviter les éclaboussures et le rejaillissement de l'eau entraînée dans la salle des machines. Le coursier en maçonnerie se prolonge horizontalement un peu au delà de l'axe, présentant à la suite un abaissement brusque destiné à faciliter la production du ressaut.

La couronne des augets a une hauteur de 0m,30. La machine attaque directement deux pompes horizontales, à course variable, suivant que le débit de la rivière fournit plus ou moins d'eau motrice.

Une seule difficulté pratique, facile à résoudre, s'est présentée en exécution, celle d'assurer la libre rentrée de l'air dans les augets au moment où l'eau doit les quitter. De prime abord j'avais pensé qu'il suffirait peut-être de percer au fond de chaque auget des trous analogues à ceux qui sont ménagés dans les augets superposés des norias plongeantes. Dans ces conditions la manœuvre de la roue était inégale et se produisait par saccades. On lui a donné toute la régularité désirable en substituant à ces trous insuffisants des ouvertures plus grandes au nombre de deux par auget, munies de soupapes à boulet, qui par leur propre poids se tiennent fermées à la descente et se rouvrent

dès que l'auget plongeant remonte au-dessus de l'eau. Ainsi disposée, non seulement la roue marche avec une régularité parfaite en temps normal, mais elle a pu fournir un travail utile en temps de crue, bien que se trouvant noyée de plus de $0^m,60$.

Je n'ai pas eu occasion de vérifier le rendement réel et absolu de la roue, en force motrice utilisée sur l'axe. Je n'ai pu le constater pratiquement que par le travail utile mesuré en eau montée par les pompes élévatoires, et je l'ai toujours trouvé supérieur à 0,63 pour des débits très variables.

Je citerai comme expérience faite avec le plus de soin celle qui a eu lieu le 12 avril 1872, et qui m'a donné les résultats suivants.

Le volume d'eau élevé en deux heures dans le réservoir supérieur, à une hauteur effective de 38 mètres déduite de l'indication du manomètre, a été de 246 093 litres, correspondant à un approvisionnement journalier de 2 953 mètres cubes en vingt-quatre heures.

L'effet utile par seconde pendant la durée de l'expérience a donc été égal à

$$T_u = \frac{246\,093}{7\,200''} \times 38 = 1299^{kg},60.$$

Le débit de l'eau motrice reçue par la roue, facile à jauger dans le canal de fuite dont la section est parfaitement régulière, contrôlé d'ailleurs par les indications conformes de la formule usuelle appliquée aux vannes alimentaires, a été trouvé de 648 litres par seconde. La hauteur de chute, mesurée de bief à bief, était au total de $3^m,115$.

Le travail moteur était donc égal à

$$T_m = 648 \times 3,115 = 2044^k,44,$$

d'où l'on déduit pour le rendement

$$\frac{T_u}{T_m} = \frac{1299,60}{2044,44} = 0,635.$$

Les pompes élévatoires ayant été exécutées, sur série de prix, par voie d'adjudication, avec fort rabais, ne présentaient aucune disposition particulièrement avantageuse. Leur rendement ne peut donc être considéré comme supérieur à la limite moyennement admise, de 0,70 à 0,75 (Claudel, tome I, page 323). Suivant que l'on adopte l'un ou l'autre de ces chiffres, le rendement du moteur hydraulique sera égal :

$$\text{dans le premier cas à } \frac{0.635}{0.70} = 0{,}91,$$

$$\text{dans le second cas à } \frac{0.635}{0.75} = 0{,}85.$$

soit une moyenne probable de 0,88.

Ce résultat était d'ailleurs certain par avance. S'il n'avait pas été obtenu, on n'aurait pu attribuer le déficit qu'à une mauvaise confection des pompes ou du coursier du moteur hydraulique. Théoriquement en effet il ne peut y avoir d'autre déperdition de force motrice que celle provenant de la lame d'eau qui, dans le bas de la course, pourrait s'ouvrir un passage entre le rebord des augets et le fond du coursier.

Pour peu que ce coursier soit convenablement dressé, sans trop de jeu, cette perte doit être très minime, et le rendement se rapprocher de l'unité, du moment où l'eau ne cesse d'agir par son poids pendant toute la durée de la course.

Le rendement proportionnel se maintient pour des débits plus considérables jusqu'à un maximum de 800 litres à la seconde, que la roue peut facilement utiliser. La production journalière en cet état a souvent atteint et même dépassé 3 500 mètres cubes en vingt-quatre heures.

Telles sont les conditions pratiques dans lesquelles la roue de Cette n'a cessé de fonctionner depuis quinze ans, en dépit du mauvais vouloir de certains agents qui n'avaient

pas vu d'un bon œil son établissement ; rendant des services proportionnels aux ressources variables du cours d'eau alimentaire, suffisant à elle seule aux besoins de la distribution, quand elle peut fonctionner à pleine eau ; venant en aide aux machines à vapeur avec une force réduite, quand le débit de la Yène diminue ; fournissant même un appoint qui n'est pas négligeable aux époques d'étiage, en marchant par éclusées intermittentes, quand le bief n'est plus alimenté par le trop plein des sources.

ROUES PROJETÉES POUR LA VILLE DE BÉZIERS.

En même temps qu'elles augmentent de plus de 30 p. 100 le rendement utile des roues à augets ordinaires, qui, de 0,65 au plus peut être porté à 0,88, les modifications que je viens de décrire permettent de diminuer de plus de moitié les frais d'installation de ces roues ; car, sans parler du surcroît de vitesse qu'on peut leur donner, il est plus facile de leur faire débiter 250 et même 300 litres par mètre courant que 100 à 120 litres aux roues anciennes.

De tels avantages me paraissent justifier la tentative que je fais aujourd'hui pour faire apprécier mieux qu'il ne l'a été jusqu'ici un système de moteur hydraulique appelé sans doute à rendre de grands services à l'industrie, dès qu'il sera connu.

Les roues à augets, ou roues en dessus à mouvement direct, telles que je viens d'en exposer le principe, réalisent en fait, pour les grandes chutes et les grandes vitesses, une amélioration au moins égale à celle que les roues Sagebien ont réalisée par rapport aux petites chutes et aux faibles vitesses.

Il y a donc lieu d'espérer qu'elles seront adoptées pour toutes les chutes d'eau d'une hauteur de plus de 3 mètres, sauf à recourir à plusieurs roues superposées du même type, si la hauteur de chute était trop élevée.

A titre de renseignement et pour mieux faire comprendre mes idées au sujet de ce nouveau perfectionnement, je crois devoir joindre à ce mémoire quelques explications concernant le projet que j'ai récemment présenté pour compléter la distribution des eaux de Béziers.

Cette ville se trouve située sur le bord d'un plateau escarpé dont la falaise culminante domine de 80 mètres environ le niveau de l'Orb, qui coule à son pied.

L'alimentation en eau potable est desservie par une machine hydraulique établie en remplacement d'un ancien moulin dont la chute insuffisante a été augmentée par l'établissement d'une coûteuse dérivation latérale, qui a permis de joindre à la hauteur de retenue du barrage celle de la pente naturelle de la rivière sur une longueur de 2 500 mètres. Dans ces conditions la chute disponible a pu être portée à 3 mètres environ.

Le débit de l'Orb est de 2 500 litres à l'étiage. La force brute disponible serait donc de 7 500 kilogrammes, soit 100 chevaux.

Le moteur employé, consistant en une turbine actionnant des pompes foulantes, ne saurait guère donner un rendement de plus de 50 à 60 p. 100 sur l'axe, de plus de 40 p. 100 en eau montée, soit 40 litres par seconde ou 3 500 mètres cubes par jour à une altitude effective de 75 mètres. En fait, il n'a pas, que je sache, été fait de jaugeage bien positif, et je doute fort que ce volume de 3 500 mètres soit habituellement atteint par la machine hydraulique, à raison surtout de la situation actuelle du grand canal de dérivation qui, par suite de sa trop faible pente longitudinale, a été obstrué par des dépôts de limon qui ne lui permettent plus de recevoir la totalité du débit de 2 500 litres disponibles à l'étiage.

La chute se trouvant d'ailleurs notablement réduite et parfois complètement supprimée pendant les crues de la rivière, l'approvisionnement de la ville, dont la population

ne cesse de s'accroître, n'est rien moins qu'assuré ; et pour suppléer à son insuffisance, on a été obligé de recourir à l'emploi d'une machine à vapeur dont le moindre inconvénient est de nécessiter des frais considérables de combustible.

C'est en vue de remédier aux inconvénients de la situation actuelle que j'ai reproduit récemment un ancien projet consistant à établir une nouvelle dérivation de l'Orb, qui, remontant à 15 kilomètres en amont, en même temps qu'elle permettrait l'irrigation ou la submersion des terres de la vallée et des coteaux, créerait à l'emplacement de la machine actuelle, une chute considérable qui, sans modifier en rien l'établissement existant, servirait à refouler dans la même conduite d'ascension un volume d'eau supplémentaire notablement supérieur à celui qu'elle reçoit déjà.

Cette combinaison serait d'autant plus avantageuse que, bien que l'Orb ait une pente très considérable en amont de Béziers, sa force motrice n'est presque pas utilisée et qu'il suffirait d'exproprier un ou deux mauvais moulins, pour avoir une chute disponible de 30 mètres de hauteur au besoin sous les murs de la ville.

Je n'ai pas cru toutefois indispensable d'aller jusque-là. Dans les conditions du projet étudié, la dérivation a été prévue pour 1 500 litres, dont 800 réservés aux besoins de l'irrigation, 200 aux usages industriels ou domestiques qui pourraient être desservis par la pente naturelle dans les bas quartiers de la ville, et 500 enfin affectés au service de la nouvelle machine élévatoire.

La hauteur de chute disponible au-dessus du bief alimentaire de la machine actuelle, dans lequel retomberaient les eaux, étant de 15 mètres, on aurait une force brute disponible de 7 500 kilogrammes, égale à celle dont on est censé pouvoir disposer aujourd'hui, en réalité très supérieure. Les turbines actuelles ne pouvant donner en eau montée un rendement de plus de 40 p. 100, on peut être

certain que le nouveau moteur, fonctionnant dans les mêmes conditions que celui de Cette, dont il reproduirait le type essentiel, donnerait au moins 64 p. 100, soit 5 500 mètres cubes par vingt-quatre heures à une hauteur effective de 75 mètres, résultat assuré en tout temps à l'abri de toutes les fluctuations du niveau de la rivière pendant les crues.

La hauteur de chute disponible étant, comme je l'ai dit, de 15 mètres, j'ai cru devoir la fractionner, en me réservant en premier lieu une chute de 3 mètres exclusivement affectée à l'aspiration et au refoulement dans des baches alimentaires, des eaux filtrées provenant d'une galerie de drainage, à l'usage de la machine actuelle, établie dans le sol graveleux de la presqu'île comprise entre le cours de l'Orb et celui de sa dérivation.

Ces baches alimentaires, dans lesquelles seront refoulées les eaux filtrées, seront des réservoirs à niveau variable adossés au coteau, au voisinage des pompes exclusivement foulantes, qui seront actionnées par la chute principale de 12 mètres, aménagée en ce point.

Cette hauteur de 12 mètres m'ayant paru trop considérable pour une seule roue en dessus, j'ai pensé qu'on arriverait à une solution beaucoup plus avantageuse et surtout plus économique, en adoptant deux roues superposées de 6 mètres de hauteur chacune, la roue supérieure renvoyant directement l'eau à la roue inférieure, de telle sorte que le mouvement inverse sur la première devienne direct sur la seconde, sans qu'il soit nécessaire de recourir à aucun artifice particulier d'inversion pour rétablir le sens primitif d'écoulement.

Les deux roues, ayant un mouvement angulaire égal, mais inverse, agiront en fait dans le même sens, l'une tirant, l'autre poussant par une bielle, sur la tige verticale d'une même pompe foulante placée à chaque extrémité des axes.

Cette disposition, mieux encore que celle qui a été adoptée à Cette, me paraît de nature à assurer un parfait fonc-

tionnement du mécanisme par l'équilibre qui s'établira entre les efforts de traction et de compression.

A raison du plus grand diamètre des roues, il sera d'ailleurs naturel d'augmenter la hauteur de couronne des augets, ce qui permettra de régler la vitesse pour une consommation de 250 litres au moins par mètre courant, et de réduire par suite la largeur des roues à 2 mètres au plus entre les couronnes.

Montpellier, 20 mai 1882.

(N° 14)

EFFETS DES CHARGES ROULANTES
SUR LES PONTS MÉTALLIQUES

Par M. RÉSAL, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

I. — FORMULES GÉNÉRALES.

Dans une notice précédemment insérée dans les *Annales des Ponts et Chaussées* (octobre 1882), nous avons indiqué une formule permettant de déterminer par le calcul l'effet d'une charge roulante sur un pont métallique.

Cette formule est la suivante (*) :

$$(1) \qquad f = \frac{M'g}{c}\left(\frac{1}{1-\frac{c'}{c}}\right)\left(1+\frac{\pi V}{2a}\sqrt{\frac{M+M'}{c-c'}}\right).$$

En désignant par :

f l'abaissement dynamique du tablier, au milieu de la travée, dû à la surcharge roulante;

$M'g$ le poids de cette surcharge;

V sa vitesse;

$\frac{M'g}{c}$ l'abaissement statique correspondant à la même surcharge $M'g$ supposée immobile;

(*) Cette formule, qui repose sur plusieurs hypothèses plus ou moins admissibles, nous a paru, malgré l'incertitude de son point de départ, s'accorder assez bien avec divers faits d'expérience. Les conséquences que nous en déduisons par des calculs fort simples, dans ce nouveau travail, pourront être également soumises au contrôle expérimental, afin de décider le degré de confiance qu'elles méritent.

$2a$ l'ouverture du pont;

c' l'expression $\frac{2M'V^2}{a^2}\left(1 + \frac{Cy_{+}}{(M + M')g}\right)$ où $y_{\prime}$ représente l'abaissement du milieu du tablier du pont supposé primitivement horizontal, par suite de circonstances indépendantes de la charge, telles que la température.

Le rapport $\frac{f}{\frac{M'g}{c}}$ de la flèche dynamique à la flèche statique est égal au rapport du travail maximum du métal dans le cas de la charge roulante, à ce même travail dans le cas de la charge immobile. C'est donc ce rapport qui permet de comparer les effets produits par ces deux charges et d'en conclure l'influence de la vitesse sur la stabilité de l'ouvrage.

Cette formule, dont le second facteur $1 + \frac{\pi V}{2a}\sqrt{\frac{M + M}{c - c'}}$ a pour limite inférieure l'unité et pour limite supérieure le nombre 2, s'appuie sur ce que la durée d'une vibration complète du pont est donnée par l'expression :

$$(2) \qquad \tau = 2\pi\sqrt{\frac{M + M'}{c - c'}}.$$

Dans le cas où on néglige l'effet de la force centrifuge sur le pont, il faut supprimer le terme c' qui le représente et la formule se simplifie et devient :

$$(3) \qquad f = \frac{M'g}{c}\left(1 + \frac{\pi V}{2a}\sqrt{\frac{M + M'}{c}}\right).$$

La formule (1) peut se mettre sous une autre forme :

Désignons par : D le rapport de la flèche dynamique à la flèche statique;

φ la flèche statique due à la surcharge supposée immobile;

P' la surcharge;

P la charge permanente;

L l'ouverture de la travée.

On a, en remplaçant les coefficients π et g par leurs valeurs numériques :

$$(4)\quad D = \frac{1}{1 - 0{,}8\frac{V^2}{L^2}\varphi - 0{,}8\frac{V^2}{L^2}\frac{P'}{P+P'}y_{\iota}} \times \left(1 + \frac{V}{L}\sqrt{\frac{\frac{P+P'}{P'}\varphi}{1 - 0{,}8\frac{V^2}{L^2}\varphi - 0{,}8\frac{V^2}{L^2}\frac{P'}{P+P'}y_{\iota}}}\right).$$

Par une transformation simple, qui consiste uniquement à effectuer les opérations indiquées, on ramène cette formule à la forme suivante :

$$(5)\quad D = 1 + \frac{V}{L}\sqrt{\frac{P+P'}{P'}\varphi} + 0{,}8\frac{V^2}{L^2}\varphi + 0{,}8\frac{V^2}{L^2}\frac{P'}{P+P'}y_{\iota}$$
$$+ 1{,}2\frac{V^3}{L^3}\sqrt{\frac{P+P'}{P'}}\varphi^{\frac{3}{2}} + 1{,}2\frac{V^3}{L^3}\sqrt{\frac{P'}{P+P'}} \times \sqrt{\varphi}\, y_{\iota} + \text{ etc.}$$

Le second membre de cette formule est une série indéfinie de termes positifs dont ceux laissés de côté contiennent tous le facteur $\frac{V}{L}\sqrt{\varphi}$ ou le facteur $\frac{V}{L}\sqrt{y_{\iota}}$ à une puissance supérieure à la 3e, et croissant indéfiniment. En général, vu la petitesse du rapport $\frac{\sqrt{\varphi}}{L}$ ou $\frac{\sqrt{y_{\iota}}}{L}$, ces termes sont négligeables. Pour des ouvrages d'une certaine ouverture la quantité $\frac{V^2}{L^2}\varphi$ devient même négligeable, et la formule se réduit à :

$$(6)\qquad D = 1 + \frac{V}{L}\sqrt{\frac{P+P'}{P'}}\sqrt{\varphi}.$$

Cette formule est la traduction de la formule (3) qui laissait de côté l'effet de la force centrifuge : $c' = o$.

Quoi qu'il en soit, la formule complète (5) ou la formule réduite (6) conduisent à la même conclusion : le rapport D, pour une même valeur V de la vitesse de la charge roulante, croît d'une manière régulière et continue avec l'expression :

$$\frac{\sqrt{\varphi}}{L}\sqrt{\frac{P+P'}{P'}},$$

La quantité $\frac{P+P'}{P'}\,\varphi$ représente l'abaissement tota statique du tablier au milieu de la travée sous l'influence de la charge permanente P et de la surcharge d'épreuve P'. Si l'on désigne par F cet abaissement, qui représente la distance verticale parcourue par le milieu du tablier, depuis le moment où le métal n'était encore soumis à aucun travail (pont sur cintre) jusqu'au moment où il a subi le travail maximum (avec la surcharge), on voit que l'expression $\frac{L}{\sqrt{F}}$ peut être considérée comme le coefficient de rigidité du pont. Plus sa valeur est grande, moins l'ouvrage est sensible à l'influence de la charge roulante, et réciproquement.

La formule (2) qui donne la durée d'une vibration complète du pont se simplifie singulièrement si on lui applique les nouvelles notations; dans le cas où l'on néglige l'effet de la force centrifuge ($c' = o$) on a effectivement :

$$\tau = 2\sqrt{F},$$

F étant l'abaissement complet précédemment défini.

On peut tirer de l'examen de ces formules différentes conclusions intéressantes au point de vue de la stabilité des ponts métalliques.

Nous avons joint à la présente note un tableau indiquant les effets qui seraient produits sur un certain nombre

d'ouvrages métalliques, par une charge roulante d'un poids égal à celui de la surcharge d'épreuve, qui serait animée d'une vitesse de 20 mètres par seconde. Nous avons fait ce calcul pour une série de ponts dont les principales données, telles que la charge permanente, la surcharge d'épreuve, l'abaissement dû à une charge statique, etc., nous étaient fournies immédiatement ou à l'aide de calculs simples, soit par le *Cours de construction de ponts* de M. Morandière, soit par celui de M. Regnault, soit par différents articles insérés dans les *Annales des Ponts et Chaussées*. Un certain nombre de ces ouvrages sont des ponts pour routes, qui n'auront jamais à supporter le passage de charges animées de pareilles vitesses. Mais comme il s'agissait ici d'une étude théorique ayant pour objet d'établir une comparaison entre les résistances des différents types de ponts au point de vue des charges roulantes, nous avons adopté une valeur commune pour la vitesse maximum à attribuer à la surcharge. Enfin, pour ramener tous les ponts considérés dans les mêmes conditions et en permettre la comparaison rigoureuse, nous avons calculé pour tous le coefficient de rigidité $\frac{L}{\sqrt{F}}$ dans l'hypothèse où la surcharge d'épreuve serait établie de manière que le travail statique maximum du métal fût uniformément de 6 kilogrammes par mètre carré pour tous les ouvrages. Ce tableau nous fournira des exemples à l'appui des conclusions que nous allons tirer de l'examen des formules précédentes.

II. — POUTRES DROITES.

Considérons une poutre droite posée sur deux appuis simples.

Soient p le poids par mètre courant (charge et surcharge), I le moment d'inertie de la section, h la hauteur

de la poutre, E le coefficient d'élasticité longitudinale du métal, égal pour le fer à $2 \times \overline{10}^{10}$, et R le travail maximum du métal par mètre carré de section.

On aura

(1) $$R = \frac{pL^2h}{16I},$$

et

(2) $$F = \frac{5}{384}\frac{pL^4}{EI}.$$

Éliminons I entre ces deux équations, et remplaçons E par sa valeur numérique

$$F = 0{,}2083 \frac{RL^2}{Eh} = \frac{RL^2}{96 \times \overline{10}^9 \times h}.$$

D'où :

$$\frac{L}{\sqrt{F}} = \sqrt{\frac{96 \times \overline{10}^9 \times h}{R}} = 310.000\sqrt{\frac{h}{R}}.$$

En désignant par ρ le travail du métal par millimètre carré de section l'on aurait :

$$\rho = \frac{R}{10^6};$$

D'où :

(3) $$\frac{L}{\sqrt{F}} = 310\sqrt{\frac{h}{\rho}}.$$

La durée d'une vibration totale de la poutre serait donnée par la formule

(4) $$\tau = 2\sqrt{F} = \frac{L}{155}\sqrt{\frac{\rho}{h}}.$$

On trouverait de même pour les poutres encastrées à leurs deux extrémités :

$$F = 0.06288 \frac{RL^2}{Eh}.$$

(5) $$\frac{L}{\sqrt{F}} = 570\sqrt{\frac{h}{\rho}}.$$

(6) $$\tau = \frac{L}{285}\sqrt{\frac{\rho}{h}}.$$

On voit que le coefficient de rigidité des poutres droites ne dépend que du travail du métal ρ et de la hauteur de la poutre h.

Nous en tirons les conclusions suivantes :

Lorsque deux poutres ont une même hauteur et que le fer y subit, sous l'action de la charge permanente et de la surcharge d'épreuve, le même travail maximum, les coefficients de rigidité de ces deux poutres sont égaux et, par conséquent, le rapport entre l'effet de la surcharge statique et celui de la surcharge roulante, pour une vitesse déterminée, est le même quelles que soient d'ailleurs les valeurs relatives des charges permanentes, des surcharges, des ouvertures, etc.

Les durées des vibrations sont proportionnelles aux ouvertures.

Exemple : Toutes les poutres, simplement appuyées, de $2^m,16$ de hauteur dans lesquelles le maximum du travail statique est de 6 kilogrammes par mètre carré de section ont pour coefficient de rigidité 186 et une vitessse de 20 mètres attribuée à la surcharge augmente son effet de 10,7 p. 100.

Pour les poutres encastrées de même hauteur le coefficient de rigidité serait 342, et l'augmentation de l'effet de la surcharge par une vitesse de 20 mètres tomberait à 5,85 p. 100.

Lorsque deux poutres présentent le même travail maximum du fer, leurs coefficients de rigidité sont en raison inverse des racines carrées des hauteurs et sont indépendants de toute autre circonstance (sauf de l'encastrement sur les appuis).

M. l'Ingénieur en chef Collignon, dans son *Traité de résistance*, § 100, appelle coefficient de raideur d'une

poutre le rapport $\frac{L}{\varphi}$, qui est sensiblement proportionnel à $\frac{L}{F}$.

En général, dans les ponts métalliques construits jusqu'à présent par les chemins de fer (voir le tableau joint à la note), on s'est astreint à faire peu varier le coefficient de raideur.

Les poutres ayant même raideur, c'est-à-dire même valeur de $\frac{L}{F}$, ont des coefficients de rigidité proportionnels à $\sqrt{L}$.

Donc, plus l'ouverture est faible, et plus l'influence des charges roulantes se manifeste, ainsi que le montre le tableau.

Donc pour que des poutres d'ouvertures différentes résistent également bien aux charges roulantes, il faut que leurs coefficients de raideur varient en raison inverse de l'ouverture.

Dans les ponts existants, on s'est en général peu écarté de la proportion du dixième pour le rapport entre la hauteur et l'ouverture.

Il en résulte que pour tous les ponts d'une ouverture supérieure à 20 mètres, le travail dynamique diffère peu (11 p. 100 au plus) du travail statique dû à la surcharge.

Il n'en est pas de même pour les petits ouvrages, qui présentent souvent des hauteurs très faibles. Le tableau montre que pour des ouvrages de 8, 6, 4, et 2 mètres d'ouverture, construits sur la ligne du Midi par M. Regnauld, l'augmentation de travail résultant d'une vitesse de 20 mètres attribuée à la charge, atteint 20, 33, 60 et 37 p. 100. Il est vrai que M. Regnauld n'avait calculé ses ponts que pour une surcharge maximum de 3 000 kilogrammes par mètre courant de voie, tandis que nous leur avons appliqué les surcharges fixées par la circulaire du 9 juillet 1877.

Mais, même en adoptant la surcharge qui donnerait exactement 6 kilogrammes pour valeur du travail maximum, on voit que l'on n'obtiendrait pas un coefficient de rigidité satisfaisant.

Il en résulte que ces ponts ne nous semblent pas présenter des conditions de sécurité suffisante.

Pour le rail à double champignon ordinaire, de $0^m,13$ de hauteur ($I = 0^m,00000926$), avec un mètre d'écartement entre les traverses et 13 000 kilogrammes de charge par mètre courant de voie, le travail dynamique surpasse de 88 p. 100 le travail statique, et atteint $15^k,78$ par millimètre carré de section :

Cela explique le peu de durée des rails en fer comparativement aux autres ouvrages construits avec ce métal, et justifie en même temps le doute que nous avons émis précédemment au sujet de la stabilité de petits ponts, où le travail dynamique maximum du métal peut atteindre une valeur égale.

Enfin comme exemple limite nous avons considéré les poutres en fonte expérimentées en 1847 par une commission anglaise (*). La hauteur de ces poutres ou barres était seulement de $0^m,038$ pour une ouverture de $2^m,60$. Dans ces conditions une vitesse de 20 mètres par seconde imprimée à la surcharge de 508 kilogrammes augmenterait le travail du métal de 566p . 100 et le porterait à $47^k,39$. Les expériences de la commission ont d'ailleurs démontré que ces barres se brisaient dès que le travail statique ($P' = 1881^k,67$) ou le travail dynamique ($P' = 806^k,17$ $V = 13^m,41$) atteignait 27 kilogrammes par millimètre carré.

Nous en concluons que l'examen des effets dus aux charges roulantes a pour les petits ouvrages une importance considérable et conduit nécessairement soit à augmenter autant que possible la hauteur des poutres, soit, dans le cas

(*) *Annales* 1851, 1er semestre.

où on est obligé d'employer des pièces de faible hauteur (comme les poutres à ornières ou caissons), à augmenter leur section de telle sorte que le travail statique étant fort réduit, le travail dynamique, quoique notamment plus considérable, ne dépasse jamais la limite admise de 6 kilogrammes par millimètre carré de section.

La même conclusion s'applique aux pièces constitutives des grands ouvrages, qui se comportent comme des poutres de faible ouverture : longerons, pièces de pont, etc.

III. — ARCS MÉTALLIQUES.

L'abaissement total à la clef d'un arc métallique est donné par la formule

$$F = 1,56 \times \frac{P+P'}{E\Omega L} \times \left(\frac{L^2+4f^2}{8f}\right)^2 \times \frac{1+0,0488\,\frac{f^4}{L^2r^2}}{1+\frac{15}{8}\frac{r^2}{f^2}},$$

en conservant les notations précédentes et désignant par f la flèche de l'arc, Ω la surface de sa section et r son rayon de gyration.

On en conclut la valeur du rapport $\frac{L}{\sqrt{F}}$

$$\frac{L}{\sqrt{F}} = \frac{8}{\sqrt{1,56}}\sqrt{E} \times \sqrt{\frac{\Omega}{P+P'}} \times \sqrt{L} \times \frac{1}{\left(\frac{L}{f}+\frac{4f}{L}\right)} \times \sqrt{\frac{1+\frac{15}{8}\frac{r^2}{f^2}}{1+0.0488\frac{f^4}{L^2r^2}}}$$

Le premier facteur de ce produit ne dépend que du coefficient d'élasticité du métal E. Ce coefficient qui pour le fer présente une valeur moyenne de 2×10^{10} descend pour la fonte à 8×10^9. Donc, toutes choses égales d'ailleurs, le coefficient de rigidité d'un pont en fonte est inférieur à celui d'un pont en fer dans le rapport de 1 à 1,60 : en remplaçant la fonte du pont de Tarascon par du fer, sans autre modification, on porterait son coefficient de rigidité

de 240 à 384. Donc en principe la fonte ne convient pas pour les petits ponts de chemin de fer.

En examinant successivement les autres on reconnaît que l'arc est d'autant moins sensible à l'effet des charges roulantes :

1° Que le travail statique du métal est plus faible $\left(\frac{P+P'}{\Omega}\right)$;

2° Que l'ouverture est plus grande;

3° Que l'arc est plus voisin du plein cintre (minimum de $\frac{L}{f}+\frac{4f}{L}$), c'est-à-dire qu'il est moins surbaissé;

4° Que le rayon de gyration de la section r est plus grand.

Ainsi pour les ponts de chemin de fer établis sur l'Erdre avec arcs en tôle, et sur le Rhône, à Tarascon, avec arcs en fonte, on augmenterait le coefficient $\frac{L}{\sqrt{F}}$ et on réduirait D en supprimant la charge de ballast que portent ces ouvrages ; on diminuerait ainsi à la fois et le travail statique dû à la charge permanente et le travail dynamique dû au passage des trains.

Comme en général les arcs ne s'emploient que pour d'assez grandes ouvertures, il est rare que l'augmentation dont nous parlons soit bien importante; c'est ce que montre le tableau numérique que nous avons dressé : les valeurs de F qui y sont portées ont toutes été calculées d'après les résultats fournis par les épreuves qu'ont subies ces arcs.

Pourtant avec un surbaissement notable, si l'on adopte pour l'arc une section dont le rayon de gyration soit très petit, notre affirmation précédente peut n'être pas exacte. C'est ainsi que le pont du Carrousel, à Paris, repose sur des arcs dont la section est telle qu'il semble que l'on ait cherché à réduire le plus possible son moment d'inertie. Aussi ce pont se comporterait-il fort mal sous l'action des charges roulantes.

En le comparant aux autres ponts en arc construits plus récemment on constate que c'est lui qui présente la valeur la plus forte pour le coefficient D; et cependant c'est ce même ouvrage qui offre la moindre valeur pour le travail maximum du métal. En le comparant au pont Sully, dont l'ouverture est à peu près la même, et appliquant à ces deux ouvrages des surcharges telles que le travail maximum du fer y soit ramené à la valeur commune de 6 kilogrammes par millimètre carré, on voit que $\frac{L}{\sqrt{F}}$ aurait pour valeurs : 164 pour le pont Sully et 83 pour le pont du Carroussel (*). Bref le pont du Carrousel est à ce point de vue assimilable soit à un pont suspendu soit à une poutre droite de $0^m,47$ de hauteur.

Cet ouvrage, dont le type a été adopté pour quelques ponts de chemins de fer, est un exemple curieux de la flexibilité que l'on peut donner à un pont de grande ouverture.

Au point de vue de l'effet des charges roulantes, il nous paraît difficile d'attribuer une supériorité aux arcs sur les poutres droites, ou inversement.

Ainsi le pont sur l'Erdre (95 mètres d'ouverture, surbaissement 1/8) a la même rigidité qu'une poutre droite d'égale résistance ayant $15^m,30$ de hauteur soit 1/6 de l'ouverture. Il est donc très stable à ce point de vue.

Le pont de Tarascon (60 mètres d'ouverture, surbaissement 1/2) est équivalent à une poutre de $4^m,32$ seulement de hauteur : son infériorité tient à l'emploi de la fonte.

D'ailleurs, pour que cette comparaison fût juste il faudrait que la fraction du travail statique due à la surcharge fût la même dans les deux ouvrages. Or pour les deux arcs précités cette fraction est très faible, bien plus

(*) Et que le coefficient D serait 1,11 pour le premier et 1,24 pour le deuxième, c'est-à-dire que l'effet dynamique est double pour le pont du Carrousel.

faible que pour les ponts en poutres droites de même ouverture, et à ce point de vue ils présentent une réelle supériorité, puisque l'augmentation D-1 porte sur une partie peu importante du travail.

IV. — PONTS SUSPENDUS.

Nous avons appliqué les formules précédentes à deux ponts suspendus : 1° l'ancien pont de la Roche-Bernard, sur la Vilaine, détruit par une tempête; 2° le pont projeté par M. Regnauld sur la gare de Bordeaux, et non exécuté. L'abaissement total F a été calculé dans les deux cas en supposant la charge et la surcharge uniformément réparties, de manière à ce que l'allongement des câbles se fît sans altérer leur forme géométrique, qui est une parabole, ni en déplacer le sommet.

Dans ces conditions on reconnaît que l'effet des charges roulantes sur ces ponts n'est pas très considérable, et que si l'on n'y faisait travailler le métal des câbles qu'à 6 kilogrammes par millimètre carré, limite admise pour les autres ponts métalliques, ils auraient une rigidité sensiblement supérieure à celle du pont du Carrousel, et égale à celle des poutres droites de $1^m,50$ de hauteur. Mais, ainsi que le fait remarquer M. Regnauld à propos du pont projeté par lui, l'hypothèse faite par nous ne se réalise pas dans la pratique. Une charge unique un peu considérable placée au milieu du tablier déforme la courbe des câbles, et l'abaissement qui, par la surcharge totale uniformément répartie, ne dépasserait pas $0^m,09$, atteint $0^m,25$ à $0^m,30$, sous l'influence d'un poids unique. Or c'est le cas qui se présente lorsqu'un train pénètre sur un pont suspendu : le tablier s'abaisse sous la locomotive, en se relevant dans la partie non chargée, de façon à donner lieu à une sorte d'ondulation qui se propage à l'avant et à l'arrière du train. Le déplacement vertical du milieu du tablier est beaucoup

plus considérable que celui calculé avec des charges uniformément réparties, et si on donnait à F sa valeur réelle, on trouverait pour $\frac{L}{\sqrt{F}}$ une valeur très faible, et l'augmentation dynamique du travail (D-I) atteindrait 40 à 50 p. 100.

Par conséquent les résultats inscrits au tableau ne pourraient se rapprocher de la vérité que si l'on parvenait à rendre les câbles du pont presque indéformables comme les poutres droites et les arcs. Si l'on pouvait établir le pont dans de telles conditions qu'un poids placé en un point quelconque du tablier donnât lieu à un abaissement au milieu, sans changement notable dans la courbe des câbles, on aurait un ouvrage offrant absolument les mêmes garanties de stabilité qu'une poutre droite ou un arc, à condition, bien entendu, que l'on y eût adopté la même limite supérieure du travail du métal.

Les Américains ont cherché à réaliser cette amélioration dans leurs ponts suspendus, et ils y sont parvenus dans une large mesure par l'emploi de haubans soutenant les parties extrêmes du tablier, et de poutres droites raidissant le tablier et l'empêchant de subir de trop grandes déformations. Après la chute du premier pont de la Roche-Bernard, en France, on l'a rétabli en le raidissant au moyen de câbles supplémentaires présentant une coubure opposée à celle des câbles de suspension et placés au-dessous du tablier. M. Noyon, ingénieur des Ponts et Chaussées, qui a fait exécuter ce travail, a constaté qu'il avait eu pour résultat de supprimer presque complètement les oscillations verticales d'une amplitude de $0^m,30$ à $0^m,60$ qui se produisaient parfois sur le pont primitif.

Dans un ouvrage cité par M. l'Ingénieur en chef Lavoinne, le pont suspendu rigide de Point-Bridge, on a réalisé d'une manière presque absolue la condition dont nous parlions et on a rendu invariable la courbe des câbles.

M. l'Ingénieur en chef Lavoinne constate que les oscillations verticales de ce pont, dont l'ouverture atteint 244 mètres, ne dépassent pas $7^{mm},9$.

Les Américains construisent d'autres ponts d'après le type dit à chandeliers, dans lesquels le tablier est supporté par une série de haubans rigides rattachés à des tours métalliques, et tenus en équilibre par d'autres haubans symétriquement placés par rapport à ces tours. C'est, encore là, il nous semble, un système de pont suspendu qui ne paraît présenter, au point de vue du passage des charges roulantes, aucune infériorité sur les ponts à poutre droite ou sur des arcs. La seule différence c'est que le métal y travaille uniquement à l'extension, tandis que dans les arcs il travaille à la compression et que dans les poutres ces deux sortes de travail se manifestent simultanément : les points d'appui subissent dans le premier cas une traction, dans le second une poussée, tandis que dans le troisième ils ne sont soumis à aucun effort horizontal.

Dans un concours ouvert à New-York pour l'exécution d'un pont sur l'East River, avec travée centrale de 223 mètres, le système des arcs métalliques et celui de la suspension par chandeliers ont été jugés admissibles dans les mêmes conditions et équivalents comme dépense et stabilité, tandis que les poutres droites ne paraissaient pas acceptables, tant au point de vue du poids énorme de métal qu'elles eussent exigé, qu'à celui des difficultés de montage.

Nous pensons qu'en renonçant aux câbles en fil de fer, trop sujets aux déformations et exposés d'ailleurs à une détérioration rapide par les influences atmosphériques et en adoptant des dispositions qui assurent l'invariabilité de la forme géométrique, on pourrait établir des ponts suspendus, c'est-à-dire des ponts dont la partie essentielle ne serait soumise qu'à des efforts d'extension, présentant des conditions de stabilité tout aussi satisfaisantes que les arcs et les poutres droites ; mais il est à présumer que l'économie

considérable que permet de réaliser l'emploi des ponts suspendus tels qu'on les construit en France disparaîtrait, et qu'à égalité de stabilité les ponts suspendus nécessiteraient, sauf des circonstances particulières justifiant d'une manière toute spéciale leur adoption, une dépense tout aussi forte.

V. — CHARGES OSCILLANTES.

On sait que les ponts métalliques entrent souvent en vibration sous l'action de charges oscillantes, c'est-à-dire dont le centre de gravité subit des déplacements verticaux périodiques, qui entraîne une variation également périodique de la pression exercée sur le pont. Exemples : groupe d'hommes marchant d'une manière cadencée ; — voitures chargées circulant sur des pavés ; — transmision de la pression au pont par des pièces déformables dans le sens vertical (comme les anneaux du pont des Saint-Pères) agissant comme des ressorts de suspension et faisant par conséquent varier la charge.

Les formules que nous avons indiquées précédemment pourraient servir à étudier les effets dans chaque cas particulier : le calcul de la durée d'une vibration du pont aurait ici une importance spéciale, car il permettrait de déterminer la vibration de l'ouvrage due à la superposition des effets d'une suite d'oscillations de la charge, concordant plus ou moins avec le mouvement périodique du pont.

GRANDS PONTS EN POUTRE DROITE.

Ce que nous avons dit précédemment des poutres droites à section constante s'applique aux grands ponts, à condition que l'on modifie les coefficients des formules indiquées par nous. En effet ces grands ouvrages sont toujours des solides d'égale résistance, à hauteur constante ou variable, par conséquent leurs déformations sont plus considérables que celles que présenteraient des poutres droites à

section constante présentant le même travail maximum du fer. Nous avons cherché les formules applicables aux différents cas, et nous les énoncerons ici sans y joindre les calculs qui nous ont conduit : ces calculs sont sans intérêt et reposent immédiatement sur des formules connues de la résistance des matériaux.

Ces formules sont de la forme :

$$F = K\frac{RL^2}{Eh} \quad \text{et} \quad \frac{L}{\sqrt{F}} = N\sqrt{\frac{h}{\rho}},$$

Kk et N étant des coefficients variables d'après le type de poutre considéré, dont h représente la hauteur constante ou la hauteur maximum.

		K	N
A. Poutres d'égale résistance et de hauteur constante.	*a*. Les deux extrémités simplement appuyées. . . .	0,25	283
	b. Une extrémité appuyée, une encastrée.	0,1776	335
	c. Les deux extrémités encastrées.	0,1280	395
B. Poutres d'égale résistance à hauteur croissant depuis 0 avec le moment fléchissant.	*a*. Les deux extrémités appuyées.	0,2849	265
	b. Les deux extrémités encastrées.	0,1549	359

Il nous semble que tous les types de poutres droites en usage sont compris dans ces différentes catégories, ou intermédiaires entre elles.

A*a*. Ponts à travées indépendantes et hauteur constante.
A*b*. Travée de rive } des ponts à travées solidaires.
A*c*. Travée intermédiaire }

Il arrive que l'encastrement des poutres à travées solidaires n'existe que pour la surcharge : poutres construites sur cintres. Ce cas est intermédiaire entre A*a* et A*c*. Il en est de même lorsqu'une travée est surchargée à l'exclusion des travées voisines, et on doit prendre alors un moyen terme entre les coefficients applicables à l'appui simple et à l'encastrement complet.

B*a*. Bow-string, système Pauli (pont de Mayence).
B*b*. Système Pauli avec croisement des semelles du pont et encastrement sur les piles.

Avec des renseignements tirés de l'ouvrage de M. Morandière, et de celui de M. l'ingénieur en chef Lavoinne (*Chemins de fer en Amérique*) nous avons dressé le tableau d'un certain nombre de ponts existants auxquels nous avons appliqué les formules précédentes.

Nous avons constaté une concordance sensible entre les résultats fournis par les épreuves et ceux donnés par les formules; cependant le coefficient N déduit de l'observation est toujours inférieur à celui indiqué par le calcul.

Cela provient probablement de ce que les assemblages des treillis ne sont pas assez parfaits pour assurer aux poutres la même raideur que si elles avaient une âme pleine. Il nous semble qu'il serait possible de juger, à ce point de vue, de la bonne exécution d'un ouvrage ainsi que de la bonne conception de son type et de ses assemblages par l'écart existant entre la déformation théorique et la déformation révélée par les épreuves.

Le tableau montre que les ponts rivés européens, à travées indépendantes, ont tous une raideur presque égale à la raideur théorique, le rapport entre les coefficients N théoriques et expérimentaux restant compris entre 0,90 et 1,00, à l'exception du système Pauli employé pour le pont de Mayence, dont l'infériorité paraît s'accuser (rapport 0,80). Pour les ponts à travées solidaires, ce rapport décroît, ce qui semblerait indiquer que la solidarité complète des travées n'a pas été obtenue d'une manière parfaite pour les ouvrages considérés.

Pour les ponts américains on remarque de grandes anomalies, mais l'écart entre la théorie et l'expérience augmente notablement. Il semblerait donc, contrairement à l'opinion des Américains, que les soins apportés à la fabrication et au montage ont pour les ponts articulés une importance

plus grande que pour les ponts rivés, puisque les mêmes types donnent des résultats absolument différents, et d'autre part les ponts américains sont notamment plus déformables que les ponts rivés; ce qui explique pourquoi on y renonce aujourd'hui pour les ouvertures de moins de 20 mètres, où ce défaut peut avoir des conséquences fâcheuses.

Ce sont là de simples conjectures, qui s'appuient sur des exemples trop rares et sur des renseignements trop peu certains pour que nous y attachions quelque importance. En effet, dans le tableau dressé par nous, les flèches d'épreuve sont probablement assez exactes (*), mais les valeurs du travail du métal, données en chiffres ronds et sans explications, nous semblent mériter peu de confiance.

Il est peut-être regrettable que les ingénieurs qui construisent de grands ouvrages métalliques ne songent pas toujours à faire connaître avec une grande exactitude ces données fondamentales. De pareils renseignements recueillis sur un grand nombre de ponts permettraient de les comparer d'une manière très intéressante, d'accuser les inconvénients et les avantages des différents types, en se basant sur les résultats des épreuves, d'écarter définitivement les systèmes défectueux ou les assemblages imparfaits, et de perfectionner, à l'aide des indications de l'expérience, cette branche importante de la construction qui jusqu'ici n'a guère progressé que par la voie de la théorie.

(*) M. Lavoinne dans son ouvrage cite le pont de Steubenville (Amérique), pour lequel les épreuves, au dire des ingénieurs, n'auraient donné qu'une flèche insensible. Or, à supposer que cet ouvrage soit équivalent à un pont à âme pleine présentant les mêmes conditions de travail maximum du métal, c'est-à-dire en supposant une invariabilité absolue des assemblages, on aurait dû avoir une flèche au moins égale à 0,025. Donc à moins d'admettre pour le fer un coefficient d'élasticité E dix fois supérieur à la valeur normale $2 + 10^{10}$ ou de supposer que les autres renseignements fournis sont complètement erronés, on doit reconnaître que les épreuves ont été menées avec la plus grande négligence et que les ingénieurs n'ont pas songé à mesurer la flèche.

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	OUVERTURE.	CHARGE PERMANENTE par travée (en tonnes).	CHARGE PERMANENTE par mètre courant de voie ou *mètre carré de tablier* (en kilogrammes).	SURCHARGE D'ÉPREUVE par travée (en tonnes).	SURCHARGE D'ÉPREUVE par mètre courant de voie ou *mètre carré de tablier* (en kilogrammes).	RAPPORT DE LA CHARGE à l'abaissement.	ABAISSEMENT TOTAL au milieu de la travée.
	L	P		P'		C	F
I.— ARCS MÉTALLIQUES.							
Pont sur l'Erdre (chemin de fer de Nantes à Châteaubriant.	m. 95,00	t. 1 470	kilog. 7 500	t. 620	kilog. 3 250	$48 \times \overline{10}^{6}$	m. 0,0435
Fer. Surbaissement $\frac{1}{8}$							
Pont de Tarascon sur le Rhône.	60,00	1 680	14 000	480	4 000	$34 \times \overline{10}^{6}$	0,0657
Fonte. Surbaissement $\frac{1}{12}$.							
Pont Saint-Louis, à Paris. . .	64,00	1 805		410	400	$20 \times \overline{10}^{6}$	0,1107
Fonte. Surbaissement $\frac{1}{11}$.							
Pont Sully, à Paris.	49,50	1 594		396	400	$26 \times \overline{10}^{6}$	0,0765
Fonte. Surbaissement $\frac{1}{9}$.							
Pont du Carousel, à Paris. . .	47,67	546		208	400	$5 \times \overline{10}^{6}$	0,1508
Fonte. Surbaissement $\frac{1}{10}$.							
II. — POUTRES DROITES.							
Ponts de la Compagnie du Midi construits par M. Regnauld Ingénieur des Ponts et Chaussées.							
Hauteur des poutres. . 3m,20	25,60		2 732		4 000		0,007
1m,57	14		1 876		5 900		0,0052
0m,60	8		1 328		8 500		0,006
0m,45	6		1 276		9 500		0,006
0m,30	4		864		10 200		0,006
0m,26	2		1 152		12 000		0,0008
Rail à double champignon. 0m,13	1		»		13 000		0,0007
Barres en fonte expérimentées en 1847 par une commission anglaise. 0m,038	2,60	kilog. 164		kilog. 508			0,0198
III. — PONTS SUSPENDUS.							
Pont de la Roche-Bernard. . .	98,18		2 624		1 200 (200)	$0,55 \times \overline{10}^{6}$	0,676
Pont projeté à Bordeaux, par M. Regnauld.	55	tonnes. 86,5		tonnes. 115,5	300	$0,86 \times \overline{10}^{6}$	0,233

COEFFICIENT de rigidité.	RAPPORT entre le travail dynamique et le travail statique V = 20m.	TRAVAIL dû à la charge permanente (en kilog. par millimètre carré).	SURCHARGE D'ÉPREUVE — Travail statique.	SURCHARGE D'ÉPREUVE — Travail dynamique V = 20m.	TRAVAIL TOTAL. — Statique.	TRAVAIL TOTAL. — Dynamique V = 20m.	DURÉE d'une vibration du pont en secondes.	HYPOTHÈSE de la reduction à 6k du travail statique. — Coefficient de rigidité.	HYPOTHÈSE de la reduction à 6k du travail statique. — Coefficient de raideur.
$\frac{L}{\sqrt{F}}$	D				ρ		τ	$\frac{L}{\sqrt{F}}$	$\frac{L}{F}$
452	1,044	3, 85	2, 86	2, 99	6, 71	6, 84	0, 42	488	2, 400
240	1, 08	3	1	1, 08	4	4, 08	0, 50	207	676
194	1, 11	3, 57	0, 77	0, 85	4, 14	4, 22	0, 66	160	400
177	1, 12	4, 04	1, 00	1, 12	5, 04	5, 16	0, 56	164	529
122	1, 18	1, 90	0, 82	0, 97	2, 72	2, 87	0, 78	83	144
305	1, 066	1, 31	1, 93	2, 06	5, 24	3, 37	0, 17	223	1,936
250	1, 08	0, 59	1, 8-	2, 01	2, 46	2, 60	0, 11	165	1, 849
102	1, 20	0, 77	4, 73	5, 68	5, 50	6, 45	0, 16	99	1, 225
78	1, 33	0, 84	6, 72	8, 94	7, 56	9, 78	0, 15	88	1, 225
52	1, 60	0, 82	9, 98	15, 97	10, 80	16, 79	0, 15	70	1, 156
72	1, 37	0, 5	4, 9	6, 71	5, 4	6, 76	0, 06	67	2, 209
42	1, 88	»	7, 5	15, 78	8, 5	15, 78	0, 05	50	2, 304
19	6, 66	2, 19	6, 79	45, 2	8, 98	47, 39	0, 28	23	196
120	1, 18	11, 25	5, 16	6, 09	16, 41	17, 34	1, 64	200	1, 600
115	1, 19	6,	8	9, 52	14	15, 52	0, 96	172	529

	DÉSIGNATION DES OUVRAGES.		SYSTÈME DE CONSTRUCTION.	OUVERTURE des travées, L.	HAUTEUR CONSTANTE ou maximum des poutres h (hauteur minimum).
France (*)	Langon	Travée de rive. . . .	Travées solidaires. Ame pleine. Hauteur constante.	62,87	5,50
		Travée centrale.. . .		73,40	5,50
	Bordeaux	Une seule travée chargée.	Travées solidaires. Treillis. Hauteur constante.	73, 6	6,35
		Toutes les travées chargées.		73, 6	6,35
	Lorient	Une seule travée chargée..	Travées solidaires. Treillis. Hauteur constante.	64,00	6,36
		Toutes les travées chargées.		64,00	6,36
	Argenteuil	Une seule travée chargée..	Travées solidaires. Treillis. Hauteur constante.	40,00	5,40
Hollande	Kuilemburg	Grande travée. . . .	Travées indépendantes à hauteur variable, treillis.	150,00	20 (8)
		Moyenne travée. . . .		80,00	8
		Petite travée.		57,00	8
		Mardyck.	Travées indépendantes à hauteur variable, treillis.	100,00	12 26(619)
Angleterre		Pont sur le Tay.. . .	Treillis, travées solidaires, hauteur constante.	74,70	8,20
Allemagne		Pont de Mayence. . .	Système Pauli (hauteur invariable) travées indépendantes.	101,30	15,00 (0)
Autriche		Nussdorf sur le canal du Danube.. . .	Travées indépendantes, hauteur variable, treillis.	88,90	11 50(340)
Amérique		Cincinnati.	Articulé — Linville.	158,30	15,67
	Louisville	Grande travée. . . .	Articulé — Triangulaire.	122,00	14,00
		Moyenne travée.. . .	Articulé — Finck.	74,90	9,00
	Saint-Charles.		Articulé — Finck.	92,70	10,98
			Articulé — Triangulaire.	96,50	9,15
	Burlington.		Articulé — Linville.	76,25	7,50

(*) Il est d'usage, en France, de compter la section entière des tôles des poutres sans déduire la peu plus forte, et par suite la valeur observée de N deviendrait sensiblement égale au chiffre

CHARGE PERMANENTE par mètre courant.	SURCHARGE D'ÉPREUVE par mètre courant.	FLÈCHE OBSERVÉE sous l'action de la surcharge en millimètres.	FLÈCHE TOTALE F en millimètres.	Coefficient de rigidité $\frac{L}{\sqrt{F}}$	TRAVAIL MAXIMUM du métal par millimètre carré ρ.	VALEUR du coefficient $N = \frac{L}{\sqrt{F}} \times \sqrt{\frac{\rho}{h}}$ Déduites des épreuves	Théorique.	RAPPORT DE LA VALEUR
800	10 000	40	59	257	6	268	335	0
800	10 000	35	52	319	6	333	395	0
000	8 000	38	66	282	6	274	331	0
000	8 000	22	38	376	6	366	395	0
000	8 000	34	60	261	6	254	331	0
000	8 000	23	39	320	6	311	395	0
000	8 000	27	47	185	6	246	331	0
400	6 000	34	116	441	7	261	272	0
300	7 000	38	83	279	7	261	283	0
500	7 700	23	39	283	7	266	283	0
600	3 200	30	73	370	6	259	274	0
300	5 000	42	78	267	7	247	309	0 8
500	3 900	64	121	291	8	212	265	08
500	3 940	38	72	329	7.5	266	271	0
000	2 740	52	206	352	6.6	229	283	0 8
050	1 640	28	131	381	7	269	283	0 9
610	2 660	44	105	233	7	206	283	0 7
660	3 600	90	179	221	8.2	190	283	0 6
470	3 460	78	156	241	8	225	283	0 8
866	2 408	63	138	205	7	200	283	0 7

…x des trous percés pour les rivets. En opérant cette déduction, on aurait pour ρ une valeu…
…rique.

CHRONIQUE

(Mars 1883.)

N° 15

ENQUÊTE DU PARLEMENT ANGLAIS

SUR

LES TARIFS DES CHEMINS DE FER.

par M. CH. BAUM, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Au commencement de 1881, le Parlement anglais institua une commission d'enquête pour rechercher s'il ne serait pas possible de tracer des limites et des règles fixes à la tarification d'apparence plus ou moins arbitraire et sans règles des compagnies anglaises de chemins de fer, et d'éviter les plaintes ultérieures du public anglais contre les taxes élevées, contre les contradictions dans la taxation, contre la diversité des classifications des marchandises et contre l'omnipotence des compagnies.

L'enquête parlementaire de 1872 et les mesures législatives auxquelles elle avait donné lieu n'avaient produit, en effet, que des résultats insignifiants ; les plaintes du commerce anglais avaient continué, surtout contre les préjudices causés par les tarifs de faveur : de là est née, pour le Parlement anglais, la nécessité d'ouvrir cette nouvelle enquête.

La commission d'enquête, composée de vingt-sept membres (*), a déposé son rapport en juillet 1882.

L'examen du rapport de la commission d'enquête de 1882 montre que presque toutes les questions soulevées dans les débats

(*) Parmi les vingt-sept membres de la commission, il y avait : dix directeurs de chemins de fer, deux avocats, cinq négociants, un membre du Board of Trade, quatre agriculteurs et cinq représentants des industries houillères et métallurgiques.

de l'enquête anglaise avaient également été traitées dans les enquêtes parlementaires faites récemment en France sur les tarifs de chemins de fer. Toutefois, en Angleterre, le conflit entre l'intérêt des expéditeurs et celui des compagnies de chemins de fer semble être plus aigu qu'en France, car le droit des compagnies anglaises en matière de tarifs est très grand.

Presque toutes les plaintes formulées à l'enquête de 1882 peuvent se ramener à quelques catégories que nous allons passer brièvement en revue.

1° *Les taxes perçues sont quelquefois supérieures aux maxima fixés par les concessions.* Quelques produits agricoles : légumes, lait, houblon, etc., ont donné lieu à de pareilles perceptions. Néanmoins presque tous les transports sont effectués à des taxes inférieures aux maxima. Les compagnies sont, du reste, autorisées à percevoir, en sus de la taxe de transport, des *terminal charges*, frais accessoires dans les stations expéditrice et destinataire. Ces frais n'ont presque pas d'influence sur la taxe kilométrique lorsqu'il s'agit de longs parcours, tandis que sur les petits parcours ces *terminal charges*, pour les marchandises des premières classes, entraînent des taxes supérieures au maximum légal.

La question de savoir si, en agissant ainsi, les compagnies sont dans la légalité est très délicate; car les maxima fixés par les anciennes concessions sont basés sur l'hypothèse que les compagnies de chemins de fer, comme celles des canaux, ne fournissent que la voie à des tractionnaires.

Des plaintes se sont élevées contre l'exagération des frais accessoires ; la loi de 1873 donne le droit aux commissaires des chemins de fer de fixer la hauteur de ces *terminal charges*, en cas de contestation. Mais souvent le prix du transport et les *terminal charges* sont donnés en un seul chiffre, sans qu'il soit possible de connaître la valeur de chacun d'eux.

Les compagnies font observer, au sujet des frais accessoires, que le travail qu'ils rémunèrent est variable, et qu'il y aurait injustice pour le public et impossibilité pour les compagnies d'établir une règle fixe et générale, applicable à toutes les classes de marchandises. Cela est vrai pour le public ; néanmoins ce public aurait probablement plus d'intérêt à voir une règle fixe substituée à l'incertitude actuelle. L'argument des compagnies, tiré de l'impossibilité de l'existence d'une règle fixe pour le calcul des frais accessoires n'est pas admissible, puisqu'au Clearing House il

existe une pareille règle appliquée d'une manière générale. *Aussi la commission d'enquête a-t-elle conclu à ce qu'une loi votée par le Parlement fixât le droit des compagnies de percevoir des frais accessoires, de telle façon que les maxima autorisés pour chaque station soient inscrits dans le tarif ou portés à la connaissance du public dans chaque station. En outre, les commissaires des chemins de fer devraient être autorisés, sur la demande d'un intéressé, à vérifier si ces taxes maxima sont convenables, et auraient le droit de les fixer.*

2° *Les produits exportés ou importés jouissent de taxes plus faibles que les produits similaires nationaux, dans les mêmes conditions de tonnage et de parcours.*

Il y a de nombreuses plaintes à ce sujet; le rapport cite quelques exemples ; quelquefois des marchandises expédiées vers un port pour être exportées payent moins que lorsqu'elles ne sont pas destinées à l'exportation.

La viande en provenance d'Amérique est expédiée de Glasgow sur Londres à 56f,25 par tonne, tandis que la viande provenant de bétail d'Écosse paye 96f,25, par tonne, pour le même parcours.

Les produits manufacturés de Manchester pour Londres et destinés à l'exportation sont tarifés à 31f,25 par tonne ; si ces produits restent dans les magasins de Londres, ils sont taxés à 50 francs la tonne.

Les agriculteurs se plaignent de ce que les fruits et houblons étrangers importés par Boulogne ou Flessingue payent moins que les fruits identiques d'Ashford et de Sittingburne ; de ce que la viande et le blé importés par Liverpool en destination de Londres sont transportés à meilleur marché que les produits similaires anglais.

Limerick se plaint de ce que les jambons étrangers et d'autres produits alimentaires sont tarifés plus bas de Liverpool à Limerick que les produits de Limerick expédiés sur la même ligne, en destination du même port.

Les compagnies sont accusées de porter ainsi préjudice à la production indigène par des tarifs bas d'exportation et d'importation. Les compagnies avouent qu'il existe des anomalies, et soutiennent que si ces marchandises n'étaient pas transportées à des tarifs plus bas, le trafic passerait ailleurs et ne pourrait pas avoir lieu par chemins de fer. Le public, disent-elles, n'est pas préjudicié par de pareilles taxes d'exception.

La commission d'enquête ne croit pas avoir à décider jusqu'à quel point ces plaintes, justifiées en partie, résultent de l'application de taxes de faveur illicites; la commission des chemins de fer a les pouvoirs nécessaires pour intervenir; chaque cas particulier est à traiter séparément.

3° *Des taxes de faveur sont accordées à une ville ou à un port au détriment d'une autre ville ou d'un autre port.*

Le rapport de la commission déclare que l'on peut admettre qu'un grand nombre des inégalités critiquées sont plutôt à l'avantage qu'au détriment du public. En accordant des taxes kilométriques plus faibles à des villes en communication plus facile avec la mer que d'autres villes, les compagnies sauvegardent un avantage créé par la nature. Si l'on empêchait les compagnies d'agir ainsi, les armateurs seuls en profiteraient. Des villes peu accessibles par mer ou par voie navigable ne peuvent pas, en équité, obtenir, par une loi arbitraire, des avantages que leur situation topographique leur a refusés.

La loi permet de porter remède à des faveurs injustes; mais on ne peut pas appeler injuste une faveur qui est la conséquence naturelle d'une concurrence loyale, et qui est accordée à tout le monde, si les services rendus par le chemin de fer sont identiques et effectués dans les mêmes conditions et pour le même tonnage. Aussi a-t-il été décidé, en ce qui concerne les marchandises de petite vitesse, que les circonstances qui peuvent modifier le prix de revient des transports, comme les fortes rampes ou les différences du tonnage expédié, justifient les différences entre les taxes de transport perçues.

Une taxe qui serait établie pour une ligne à grand trafic et d'un profil favorable, serait beaucoup trop basse sur un chemin à fortes rampes et à faible trafic. Les taxes de faveur accordées aux transports importants sont conformes à la loi naturelle du commerce. L'acheteur en gros obtient plus d'avantages que l'acheteur de détail; le vendeur économise en effet son temps et les dépenses qu'entraînent un grand nombre de petites affaires. Ces règles commerciales si rationnelles, au sujet desquelles personne ne songe à parler de faveur, s'appliquent aussi aux transports. Il y a une grande différence entre le prix de revient d'un train complet allant d'un bout à l'autre de la ligne sans rompre charge, et celui d'un train laissant des wagons dans diverses gares, avec des dépenses d'arrêt et de manœuvres.

Les témoins d'Irlande se plaignent en outre de ce que le tarif local irlandais est, en général, supérieur aux tarifs anglais; de ce que la classification irlandaise est plus défavorable, surtout en ce qui concerne les produits agricoles, les machines ; de ce qu'au grand détriment du commerce en gros de Dublin, ces taxes locales sont supérieures, et cela hors de toute proportion, aux taxes de transit entre les stations anglaises et les stations irlandaises; de ce que, par suite de l'entente des compagnies anglaises et irlandaises et des compagnies de bateaux à vapeur, il existe un monopole complet avec égalité de taxes de Liverpool à Dublin par mer ou *viâ* Holyhead, avec exclusion de la participation aux transports des sociétés indépendantes de bateaux à vapeur; de ce qu'enfin l'administration des lignes irlandaises est inutilement coûteuse par suite du morcellement du réseau en un grand nombre de compagnies ayant chacune un état-major. En fait, il y a 270 directeurs, 37 secrétaires, 20 directeurs d'exploitation, et des cadres correspondants d'employés inférieurs, pour l'administration d'un réseau dont le capital s'élève à 900 millions de francs; tandis que la compagnie anglaise du Great-Eastern, avec un capital presque double, n'a que 18 directeurs, 1 secrétaire et 1 directeur général d'exploitation.

La commission d'enquête, en ce qui concerne ce dernier point, ne peut que recommander, dans un but d'économie, la fusion ultérieure des compagnies irlandaises. La commission considère aussi comme désirable l'adoption d'une classification unique pour le royaume; elle est d'avis qu'il n'est pas possible d'éviter l'accord entre les compagnies anglaises et les compagnies irlandaises, car ces ententes se produisent dans toutes les branches de l'industrie.

La commission a reçu les dépositions de producteurs qui se plaignent de ce que, par le fait des tarifs d'exception, ils ont à payer des taxes plus élevées que les producteurs d'autres régions. Certaines villes réclament aussi contre les taxes très faibles qui ont détourné de leurs murs un trafic déterminé et l'ont conduit sur d'autres routes.

La concurrence, par les taxes faibles qu'elle accorde, enlève au commerce le caractère local : sans cette concurrence le négociant le plus rapproché d'un marché aurait sans doute de gros bénéfices. La concurrence ne peut être, en général, que favorable au public. Ainsi les raffineries de Greenock, viennent sur le même marché que celles de Londres. C'est un inconvénient pour les dernières et un avantage pour les premières, sans aucun détriment pour l'acheteur ou le consommateur. Trente-neuf villes

anglaises reçoivent du sucre de Greenock à une distance moyenne de 470 kilomètres (292 milles) ; ces villes ne sont qu'à une distance moyenne de 241 kilomètres de Londres. Les prix de transport sont à peu près les mêmes pour les deux villes, c'est-à-dire que le sucre de Greenock, pour le même prix, est transporté deux fois plus loin que celui de Londres. Les raffineurs de Greenock peuvent concourir avec ceux de Londres, ce dont ces derniers se plaignent en demandant, soit une réduction pour les sucres de Londres, soit une augmentation pour ceux de Greenock. Si satisfaction était donnée aux raffineurs de Londres, le sucre de Greenock serait chassé du marché de certaines villes, les lignes du nord perdraient une partie de leur trafic, qui passerait aux lignes du sud ; les raffineurs de Londres auraient un monopole de fait et jouiraient du principal bénéfice d'un tel changement.

La commission d'enquête a pensé qu'un pareil résultat ne serait ni juste ni rationnel.

Quoique la commission n'ait pas demandé les mêmes taxes kilométriques, néanmoins on a défendu dans son sein l'uniformité de taxation. Le rapport de la commission se contente de répéter les termes du rapport de la commission d'enquête de 1872. La commission de 1872 avait, en effet, déclaré qu'elle rejetait un système de tarifs à taxes kilométriques uniformes, parce qu'il priverait les compagnies et le public des avantages de la concurrence des chemins de fer entre eux et avec les autres voies de communication, et qu'un tel système nécessitait de nombreuses exceptions.

Néanmoins la commission se prononce en faveur d'une certaine uniformité dans la fixation des taxes.

Un des systèmes proposés à l'enquête pour servir de base à la taxation est celui d'après lequel la taxe perçue serait dans un rapport déterminé avec le prix de revient ; dans ce système, les compagnies ne devraient pas retirer un plus grand bénéfice de telle fraction de leur trafic que de telle autre fraction de ce trafic. Mais outre qu'il est difficile de déterminer le prix de revient du transport, il reste à savoir si le public gagnerait à l'adoption de ce système ou de tout autre système de tarification. Toute règle fixe diminuerait la capacité de concurrence du chemin de fer ; la concurrence par mer gagnerait par l'adoption d'une taxation inflexible, car elle enlèverait le trafic actuel effectué à bas prix. Il faudrait donc, pour avoir le même revenu, tarifer plus haut le trafic restant.

Si des taxes uniformes étaient imposées aux compagnies, elles

ne pourraient plus accorder des tarifs bas comme cela se pratique sous le régime de la concurrence et de l'intérêt personnel.

Les compagnies affirment, au surplus, qu'elles comprennent mieux leurs intérêts que le législaleur lorsqu'on dit que les taxes faibles augmentent le trafic.

4° Il y a aujourd'hui un assez grand nombre de taxes plus élevées que par le passé, et ces taxes, quoique perçues en conformité de la loi, gênent le développement du commerce, au détriment du public et des compagnies de chemins de fer.

Un certain nombre des taxes perçues en 1882 sont supérieures à celles de 1870. En 1873, par suite de l'augmentation du prix des matières et de la main-d'œuvre, il y eut une augmentation des prix de transport. Depuis lors les prix des matières sont retombés a ceux de 1870, et les compagnies continuent à percevoir les taxes surélevées,

Des expéditeurs du Forfarshire et de Cornouailles soutiennent que les taxes de transport actuelles pour poissons et légumes absorbent une si grande partie du prix de vente que le producteur n'a plus qu'un bénéfice relativement faible; quelquefois, lorsque les arrivages sont considérables, tout le produit de la vente est employé en frais de transport et autres frais. Avec des tarifs bas, le commerce de poissons de ces contrées, celui des légumes de Cornouailles se développeraient considérablement, ce trafic serait plus avantageux pour les compagnies que le trafic restreint actuel à tarif élevé, et tout le monde y gagnerait.

Les compagnies sont d'avis au contraire que les tarifs actuels sont convenables et que les réductions demandées n'amèneraient pas de changement sensible dans les prix de vente du poisson.

5° Le public trouve intolérables les difficultés qu'il rencontre pour s'opposer à la perception de taxes trop élevées ou à des faveurs illégales accordées par les compagnies.

Un grand nombre de négociants se plaignent de ce qu'il est presque toujours contraire à leurs intérêts de citer une compagnie devant la commission des chemins de fer instituée par la loi de 1873. Les motifs qu'ils donnent sont les suivants :

1° Les dépenses à faire pour obtenir satisfaction sont telles que le plaignant, même en cas de succès, éprouve presque fatalement des pertes précuniaires.

2° Les compagnies sont, comme l'expérience le montre, si bien armées pour étendre et soutenir la lutte, que peu de commerçants peuvent lutter contre elles.

3° Les compagnies ont tant d'occasions de causer des ennuis ou de faire éprouver des pertes à ceux qui se plaindraient, en leur retirant les facilités ordinaires de transport, que, par crainte des conséquences indirectes, un négociant ne se décidera que rarement à citer une compagnie devant les commissaires des chemins de fer.

L'enquête a montré que ces plaintes étaient fondées, et que la saine appréciation de ses intérêts amène le commerçant à conclure qu'il a avantage à se laisser imposer des surtaxes ou à éprouver des dommages par suite de faveurs non justifiées accordées à d'autres commerçants, plutôt qu'à s'adresser aux commissaires des chemins de fer. Voici un exemple très instructif:

La compagnie de London-Chatham-Dover mit en vigueur, en 1881, un tarif spécial pour houblons; d'après ce tarif la taxe de Sittingburne à Londres s'élève à $11^{sh},8^{d}$ par tonne, plus 5 shellings par tonne, pour livraison à domicile. Le planteur de houblon prétend que la taxe légale maxima s'élève à $18^{sh},9^{d}$, de telle sorte que si cette affirmation est exacte, la compagnie percevrait $16^{f},10$ ($12^{sh},11^{d}$) par tonne en sus du maximum légal. La compagnie transporte 4 000 tonnes de houblon par an; la surtaxe perçue s'élève donc à une somme assez élevée. Néanmoins le préjudice qui en résulte pour le cultivateur de houblon n'amènera pas un homme prudent à lutter contre la compagnie.

6° *Difficulté de déterminer la classe à laquelle appartient une marchandise et la taxe à percevoir en présence de la multiplicité des concessions et de l'imperfection des classifications et des tarifs incomplets.*

Toute concession de ligne contient des clauses en vertu desquelles la compagnie concessionnaire est autorisée à percevoir des taxes pour l'usage des chemins de fer. Une partie de ces clauses fixe les taxes moyennant le payement desquelles des voitures, wagons ou locomotives peuvent circuler sur le chemin. Une autre partie indique les tarifs maxima du transport des voyageurs et des marchandises, y compris les manutentions accessoires. Une troisième partie règle les *running powers*, le droit des compagnies, dans certains cas d'utilisation de leurs lignes par des compagnies étrangères.

Les marchandises sont, en général, réparties en quatre ou cinq classes, à taxes kilométriques différentes et variables, de $0^f,062$ à $0^f,31$, par tonne et par kilomètre (1 à 5 deniers par tonne et mille). La houille dans certaines concessions et dans des conditions particulières, paye moins de 1 denier. La classification des marchandises est très incomplète; il n'y a d'uniformité de classification ou de taxe, ni dans les concessions des diverses compagnies, ni même dans les diverses concessions d'une même compagnie.

Presque chaque compagnie perçoit des taxes d'après diverses concessions applicables à des fractions de son réseau. L'enquête a montré que dans quelques cas il fallait tenir compte de plus de cinquante concessions pour établir la taxe maxima autorisée.

Quelques compagnies ont une classification des marchandises applicable au trafic transit et de correspondance et au trafic local; tandis que d'autres compagnies ont une classification spéciale pour le trafic local.

La commission d'enquête a examiné la question de savoir comment une compagnie devait fixer la taxe à percevoir pour un article déterminé en tenant compte des tarifs appliqués aux produits similaires transportés dans les mêmes conditions. Les compagnies prétendent qu'elles ont le droit de fixer une taxe quelconque inférieure au maximum légal, et qu'on ne peut les empêcher de percevoir pour un article une taxe plus élevée que pour un autre article, alors même que les dépenses de transport sont les mêmes dans les deux cas. Elles soutiennent même qu'elles peuvent percevoir, comme dans le cas des transports de viande de Glasgow à Londres, des taxes différentes pour les mêmes marchandises expédiées dans les mêmes conditions à divers destinataires.

Il résulte des dépositions des directeurs des compagnies anglaises, que nulle part on n'a appliqué en Angleterre un principe ou un système dans la fixation des taxes. Ils font payer à la marchandise tout ce que, d'après leur opinion, elle peut payer, en tenant compte de la concurrence d'autres voies de transport ou d'autres marchés; on prend tout ce qu'on peut obtenir, sans avoir égard aux prix de revient des transports. Les compagnies considèrent qu'il n'est pas possible de fixer avec exactitude les taxes de certaines catégories de marchandises d'après les prix de revient du transport. Les compagnies ne veulent transporter aucune marchandise à perte, et même avec les taxes les plus faibles gagner un peu plus que le prix de revient, sans tenir compte des intérêts du capital.

Pas un témoin ne s'est prononcé pour l'adoption de taxes kilométriques uniformes; mais beaucoup se sont plaints des inégalités des taxes perçues par les compagnies, et ont fait ressortir les avantages d'une tarification basée sur un principe rationnel plutôt que sur l'arbitraire.

La commission d'enquête a vainement cherché à trouver un principe général d'après lequel les taxes étaient fixées et d'après lequel les marchandises étaient réparties dans les diverses classes.

Il est fort difficile à l'intéressé de déterminer quelle est sur un réseau étendu la taxe maxima autorisée pour le transport d'une catégorie déterminée de marchandises.

L'enquête a montré que les livrets de tarifs et de classification prescrits par la loi de 1873 n'étaient que d'une mince utilité pour le public. Ces livrets sont incomplets, et les employés de chemins de fer refusent quelquefois de les laisser consulter par les intéressés. Les compagnies assurent, il est vrai, qu'elles ont donné à leurs agents des instructions générales de soumettre ces livrets à toute personne qui en ferait la demande, et qu'on ne faisait que rarement usage de ces livrets. Cela se conçoit facilement, car ces livrets sont si peu rationnels que tout le monde préfère s'adresser à l'agent compétent pour demander les taxes plutôt que d'étudier ces livrets.

Les compagnies soutiennent que tant qu'il existera des réseaux concurrents il ne sera pas possible de fixer des bases simples et uniformes pour les tarifs de marchandises, et que les inconvénients résultant de la complication et de l'incertitude des tarifs peuvent être évités en suivant le procédé usuel du commerce, à savoir de demander par écrit les taxes aux compagnies.

Une clause obligeant les compagnies à donner des renseignements exacts sur tous leurs tarifs a été introduite dans toutes les concessions de la dernière session du Parlement.

La commission d'enquête est d'avis qu'il n'y a pas lieu d'imposer aux compagnie le système de l'uniformité des tarifs.

7° *Plaintes formulées par le commerce et les compagnies de canaux contre les compagnies de chemins de fer, contre l'exploitation des canaux appartenant à ces dernières ou placés sous leur influence.*

L'enquête a montré que certaines compagnies de chemins de fer devenues propriétaires d'un canal ou entrées en possession du contrôle d'un canal, ont cessé l'exploitation sur le canal ou ont perçu des droits de péage exagérés, surtout pour le trafic de

transit, de telle façon que le trafic du canal a été détourné par le chemin de fer. Une fois le détournement opéré, la compagnie de chemins de fer a augmenté ses tarifs, au grand détriment du public et du commerce.

La commission d'enquête est d'avis que ces plaintes sont fondées.

Sans doute, il ne peut pas être défendu à une compagnie de chemins de fer de renoncer aux revenus d'un canal qui lui appartient, parce qu'elle pense qu'elle tirera un plus grand profit du chemin de fer concurrent du canal; là où le canal forme une partie d'une route concurrente de transit, la compagnie a intérêt, en règle générale à peser sur ce trafic de transit.

Les transports peuvent être effectués souvent à meilleur marché par les canaux que par les chemins de fer, surtout lorsqu'il s'agit de marchandises lourdes, de peu de prix, qui n'exigent pas un transport rapide.

La commission d'enquête considère, en conséquence, comme impolitique que des compagnies de chemins de fer aient un contrôle direct ou indirect sur la navigation des canaux; elle recommande au Parlement de s'efforcer, là où existe un pareil contrôle, d'assurer l'usage libre le plus étendu des canaux.

8° *Plaintes relatives au trafic des voyageurs.*

Ces plaintes sont plutôt de nature locale que générale, et n'ont pas grande importance.

On se plaint surtout de ce que le nombre des trains avec voitures de 3e classe est insuffisant; de ce que les trains ne présentent pas des installations assez commodes pour le public; de ce que dans certains cas on perçoive des taxes supérieures ou égales pour un parcours plus petit qu'un autre parcours de la même route; de ce que dans le sud de l'Angleterre les tarifs de voyageurs sont plus élevés, en général, que dans d'autres parties de l'Angleterre.

La commission d'enquête est d'avis que la concurrence qui existe pour le trafic des voyageurs suffit pour amener des améliorations satisfaisantes; que les anomalies indiquées au cours de l'enquête disparaîtront par suite de la politique d'égalisation et de simplification des tarifs de voyagenrs adoptée par les compagnies anglaises; que, pour le surplus, les plaintes formulées sont à porter devant les commissaires des chemins de fer, dont la compétence est incontestable.

9° *Desideratum relatif à la commission des chemins de fer.*

Dans le cours de l'enquête, on a aussi examiné et discuté la nature et la composition du tribunal devant lequel les parties lésées peuvent se faire rendre justice. La commission pense que ce tribunal devrait être permanent. Le caractère temporaire qu'il a eu jusqu'à présent a été souvent un motif d'empêchement à son fonctionnement. La commission d'enquête croit aussi que cette commission des chemins de fer a été d'un grand intérêt public, non seulement dans les cas où l'on s'est adressé à elle, mais aussi en empêchant des procès entre les compagnies et le public.

La commission d'enquête ne recommande pas, ainsi que le proposent les représentants de puissantes compagnies de chemins de fer, le remplacement par un seul juge des trois juristes et de l'homme versé dans les affaires des chemins de fer qui composent aujourd'hui cette cour de justice. Mais il paraît désirable de permettre l'appel contre les décisions de la commission des chemins de fer, à savoir, à la cour d'appel pour l'Angleterre et l'Irlande, et à un tribunal parlementaire pour l'Écosse,

La commission d'enquête propose en outre d'étendre la compétence et les attributions de la commission des chemins de fer. La principale de ces nouvelles attributions serait le droit de fixer elle-même des taxes directes sur plusieurs chemins concurrents sur base de la plus courte distance.

Les conclusions et les propositions de la commission d'enquête ont été soumises au Parlement anglais. Elles donneront lieu à des discussions et peut-être à une opposition sérieuse de la part d'une fraction du Parlement; car un grand nombre d'administrateurs et de directeurs de compagnies de chemins de fer siègent au Parlement. Les *desiderata* de la commission d'enquête ne pourront être érigés en loi que par un vote favorable du Parlement.

Paris en octobre 1882.

N° 16

LE CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES ET L'INSTITUT

NOTE COMPLÉMENTAIRE

Par M. TARBÉ DE ST-HARDOUIN, Inspecteur général
Directeur de l'École.

M. l'Inspecteur général Charié-Marsaines a signalé au Secrétariat de la Commission des *Annales* plusieurs erreurs ou omissions commises dans la liste des Ingénieurs des Ponts et Chaussées ayant appartenu à l'Institut de France, liste insérée à la page 70 des *Annales* de 1883.

Deux de ces omissions sont réelles et s'appliquent à MM. Girard et Dutens : elles doivent être réparées ainsi qu'il suit :

1815-1836	Girard. . .	Ingénieur en chef, directeur.	Académie des sciences. Section de physique générale.
1839-1848	Dutens. . .	Inspecteur général.	Académie des sciences morales et politiques. Membre libre.

Les observations de M. Charié-Marsaines portent ensuite sur Perronet et Bernardin de St-Pierre.

La liste que j'ai rédigée, de même que celle qui avait été dressée pour le Corps des Mines, ne s'applique qu'à l'*Institut*, et je ne pouvais y comprendre Perronet ; mais j'ai rappelé qu'il avait fait partie de l'ancienne Académie des sciences depuis 1765 comme *associé libre*, et cette mention est parfaitement exacte.

Le Personnel de l'Académie des sciences se divisait, avant la création de l'Institut, en un grand nombre de catégories telles que

Membres honoraires,	Associés libres,
Pensionnaires vétérans,	Associés vétérans,
Pensionnaires ordinaires,	Associés ordinaires,
	Associés étrangers.

Le nom de Perronet a toujours figuré dans la section des *associés libres*, ainsi qu'on peut le vérifier dans l'*Almanach royal* de chaque année.

En ce qui concerne Bernardin de St-Pierre, M. Charié-Marsaines indique que le célèbre écrivain est entré à l'École des Ponts et Chaussées en 1757, qu'il a plus tard occupé un emploi d'ingénieur à l'île de France, et qu'en conséquence il devrait figurer sur notre liste comme membre du Corps des Ponts et Chaussées ayant fait partie de l'Académie française.

J'ai prié M. Cheysson de m'aider à résoudre ce point d'histoire assez obscur et il résulte de nos recherches ce qui suit :

Bernardin de St-Pierre, né en 1737 a été admis en 1757 à l'établissement d'instruction dirigé depuis 1747 par Perronet sous le titre de *Bureau des Plans et des élèves pour l'emploi d'Ingénieur*.

Le titre d'École des Ponts et Chaussées figure officiellement pour la première fois dans une instruction de Turgot du 19 février 1775, et néanmoins l'ancienne dénomination se trouve encore seule dans l'*Almanach royal* de 1779.

Quoi qu'il en soit, le bureau des dessinateurs fut licencié en 1758 par mesure d'économie, et, après une courte mission sur les travaux et huit années d'une existence très agitée comme ingénieur militaire à Malte, en Allemagne, en Hollande, en Russie et en Pologne, Bernardin de St-Pierre obtint en 1766 un brevet d'ingénieur colonial et passa trois années à l'île de France, sous les ordres de M. de Bueil ingénieur en chef.

Nous ne pensons pas que ces détails nous autorisent à inscrire le nom de l'auteur de *Paul et Virginie* sur les listes du Corps des Ponts et Chaussées, et nous nous bornons à les mettre sous les yeux des lecteurs des *Annales*

17 mars 1883.

N° 17

ÉTUDE

SUR

LA SITUATION PHYSIQUE ET MORALE DES OUVRIERS DES GRANDS CHANTIERS

Par M. H. de LAGRENÉ, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

INTRODUCTION

En parcourant nos *Annales des Ponts et Chaussées*, si riches en documents techniques et scientifiques sur toutes les matières qui intéressent les travaux publics, on peut s'étonner de n'y rencontrer aucune étude ni même aucun renseignement sur la situation physique et morale des ouvriers de nos grands chantiers.

Le dernier de nos manœuvres n'est cependant pas simplement un instrument de travail soumis à la loi de l'offre et de la demande et représenté par un certain prix de location comme un moteur quelconque. On observe tout d'abord qu'il possède une force morale qui n'est pas sans action sur sa force physique, mais c'est là le petit côté de la question. Ce qui nous préoccupe bien davantage en assistant aux travaux souvent pénibles exécutés par nos ouvriers, c'est de savoir s'ils souffrent, s'ils pensent à leur famille, à leur avenir, s'ils se conduisent paisiblement et honnêtement, si leurs faiblesses ne sont pas exploitées à leur détriment, s'ils élèvent quelquefois leurs pensées au-dessus des préoccupations matérielles de chaque jour :

en un mot, nous éprouvons le besoin de veiller paternellement sur eux, et nous croyons que c'est un devoir que nul ingénieur ne méconnaît, mais qui n'est formulé explicitement ni dans nos cours, ni dans nos recueils périodiques.

Comment et dans quelles limites cette surveillance doit-elle être exercée? doit-on en faire l'objet de prescriptions officielles ou la confier simplement à l'appréciation et à l'initiative officieuse de chaque ingénieur? quels sont les moyens de la rendre efficace? Telle est l'indication générale du problème dont l'étude nous paraît nécessaire et dont la solution intéresse une fraction importante de la population.

Avant de chercher à formuler cette solution, il faut constater la situation actuelle en examinant ce qui se passe sur les grands chantiers.

Dans le présent article nous nous bornons à donner les renseignements que nous avons recueillis avec soin dans notre service, et si d'autres ingénieurs veulent bien de leur côté continuer la même étude et apporter le compte rendu de leurs observations, les mesures à prendre pourront être ensuite discutées et déterminées plus sûrement; en tout cas, nous aurons appelé l'attention sur une question importante et délicate qui mériterait d'être traitée par une personne plus compétente.

Ordre suivi dans cette étude. — Nous avons d'abord adressé à nos ingénieurs ordinaires ou à nos conducteurs chefs de section un programme des faits à constater sur chacun de nos chantiers; les observations recueillies séparément nous ont ensuite été transmises, et c'est en les analysant que nous avons pu rédiger la présente étude. Nos collaborateurs ont été M. l'ingénieur Lechalas et MM. les conducteurs Thomas, Blot et Haudiquet.

L'enquête nous a montré que les mêmes faits se reproduisent presque identiquement d'un chantier à un autre; ce que nous allons dire s'applique donc à l'ensemble de

nos chantiers, sauf à signaler en passant quelques détails particuliers à l'un ou à l'autre.

Nous donnons d'abord dans le premier chapitre des renseignements généraux qui comprennent : le mode de recrutement des ouvriers, leur mode d'engagement, les heures de travail, l'emploi des jours de repos, la nourriture, le logement, les vêtements, le service médical, les salaires divers, l'emploi du temps en dehors du chantier, l'emploi des économies réalisées sur les salaires.

Dans le second chapitre nous prenons en particulier un ouvrier de chaque espèce et nous examinons son budget. Nous avons éprouvé quelques difficultés à réunir les éléments de notre étude, d'abord parce que les ouvriers ne consentent pas facilement à nous mettre au courant de leurs affaires, et ensuite parce que l'Administration des Postes, tenue au secret professionnel, n'a pas consenti à nous faire connaître le montant des sommes d'argent envoyées par son intermédiaire aux familles, de sorte que les déclarations reçues à ce sujet n'ont pu être contrôlées comme nous l'aurions désiré pour connaître exactement l'emploi des économies de fin d'année.

CHAPITRE PREMIER

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX

§ 1er. — *Mode de recrutement.*

Les ouvriers des diverses catégories se recrutent de diverses manières, comme nous allons l'expliquer.

Terrassiers et manœuvres. — Quatre ou cinq chefs terrassiers sont attachés à chaque entrepreneur et dirigent les équipes.

Les terrassiers ordinaires sont composés d'ouvriers de la localité, d'ouvriers français étrangers à la localité (chemineaux), d'Italiens et, par exception, de Belges.

Ces ouvriers viennent s'offrir au chef d'équipe, qui les embauche selon ses besoins.

Il n'existe pour les terrassiers aucune organisation de compagnonnage ou de maison-mère. Ils sont payés à l'heure.

Maçons. — Les entrepreneurs ont quelques maçons qui font partie de leur personnel permanent et qui, à défaut de maçonneries, sont occupés à des installations diverses; ces chefs d'équipe retournent néanmoins tous les ans pendant la mauvaise saison dans leur pays, c'est là qu'ils reçoivent des entrepreneurs l'avis de l'époque à laquelle ils doivent revenir et du nombre approximatif de compagnons qu'ils doivent amener avec eux.

Si pendant la campagne les travaux exigent un personnel plus nombreux, les entrepreneurs vont en recruter à Paris, sur la place de Grève ou chez un marchand de vin dont la salle sert de réunion habituelle aux maçons limousins. Dans ce cas, le prix de l'heure de travail est débattu par avance et, en outre, les entrepreneurs ont l'usage de payer une indemnité de déplacement et de garantir un minimum de journées de travail.

Quand une équipe est chargée d'exécuter quelque ouvrage à la tâche, les maçons commencent par faire entre eux un certain triage afin d'égaliser autant que possible le travail, le chef d'équipe ne touche qu'une part égale à celle des autres.

Les maçons n'ont pas de société de compagnonnage; la campagne terminée, ils retournent dans la Creuse et le Limousin, où habitent généralement leurs familles; ils y apportent leurs économies et emploient leur hiver soit aux champs soit à des travaux d'intérieur. Ils se marient dans leur pays et leurs fils devenus grands les accompagnent d'abord comme aides-maçons, puis formés sous leur surveillance deviennent de bons ouvriers, sobres et travailleurs.

Ce que nous venons de dire ne s'applique pas aux

travaux de maçonnerie exécutés dans l'air comprimé; là tous les maçons et tous les terrassiers ou manœuvres sont Italiens ou Autrichiens. Ces étrangers se contentent d'un prix que n'acceptent pas les ouvriers français, et ils se prêtent mieux aux exigences du travail dans les caissons. Ils sont amenés par les entrepreneurs avec lesquels ils ont déjà fait divers travaux en France et hors de France, ou sont recrutés par les contremaîtres qui sont également étrangers.

Tous les maçons sont payés à l'heure, sauf le cas assez rare d'un travail à la tâche.

Charpentiers. — Deux ou trois charpentiers sont attachés d'une manière permanente à l'entreprise; à défaut de travaux spéciaux, ils s'occupent des installations et de l'entretien du matériel de transport; les autres charpentiers sont recrutés suivant les besoins, soit parmi les ambulants, soit parmi ceux du pays. Autant que possible, les entrepreneurs font travailler les charpentiers à la tâche, à cause de leurs exigences et du peu de travail qu'ils produisent.

Il existe entre les ouvriers charpentiers une société de compagnonnage, mais les anciens grades qui étaient obtenus par la production d'un chef-d'œuvre ont été supprimés; on n'y tient plus compte des capacités individuelles, et le mauvais ouvrier doit être payé au même taux que le bon; la société facilite les réunions et est utilisée pour discuter les intérêts des charpentiers, débattre les questions de salaires et de grèves, etc.

Les charpentiers sont payés à l'heure ou à la tâche.

Mécaniciens et chauffeurs. — L'entreprise occupe plusieurs mécaniciens pour la conduite des pompes d'épuisement, des pompes soufflantes, des manèges à mortier, des grues, etc.; ces mécaniciens sont généralement adressés de confiance aux entrepreneurs par les constructeurs de machines; ils sont payés au mois et le prix est fixé après le premier mois de travail.

Les chauffeurs viennent s'offrir sur le chantier; ils sont également payés au mois, mais ne remplissent pas leurs engagements aussi régulièrement que les mécaniciens et quittent souvent avant la fin du mois.

Forgerons. — Les forgerons employés à la réparation du matériel de l'entreprise sont peu nombreux; ils sont recrutés chez les constructeurs de machines et dans le pays; ils sont payés à l'heure.

Tailleurs de pierre. — Les tailleurs de pierre se recrutent auprès des maîtres carriers; ils travaillent toujours à la tâche. Leurs anciennes sociétés de compagnonnage ont aujourd'hui disparu.

§ 2. — *Mode d'engagement.*

Les engagements entre les ouvriers et les entrepreneurs ou les chefs d'équipe qui les représentent sont toujours verbaux. En général, ce n'est qu'après quelques jours de travail que le chef d'équipe fixe le salaire d'après l'aptitude de l'ouvrier; si l'ouvrier se trouve assez payé il reste, sinon, il se fait immédiatement régler en acceptant pour cet essai le prix indiqué par le chef de chantier, puis il va chercher du travail autre part.

Ces engagements verbaux n'ont soulevé jusqu'à présent aucune discussion entre ouvriers et patrons.

§ 3. — *Heures de travail.*

La durée du travail journalier sur le chantier varie de 9 à 12 heures suivant la saison, et comme l'indique le tableau suivant; cette durée est partagée par un temps d'arrêt qui varie de 1 heure à 2 heures, et qui comprend un repas.

MOIS.	HEURES DE TRAVAIL le matin.	HEURES DE TRAVAIL l'après-midi.	DURÉE du travail journalier.	OBSERVATIONS.
	heures.	heures.	heures.	
Janvier.	7 à 11	midi à 5	9	
Février.	7 à 11	midi à 5	9	
Mars.	6 à 11	midi à 5	10	
Avril.	5 1/2 à 11	midi à 6 1/2	12	
Mai..	5 à 11	midi 1/2 à 6 1/2	12	
Juin.	5 à 11	1 à 7	12	
Juillet.	5 à 11	1 à 7	12	
Août.	5 à 11	1 à 7	12	
Septembre. . .	5 à 11	1 à 7	12	
Octobre.. . . .	6 à 11	midi à 6	11	
Novembre. . .	6 1/2 à 11	midi à 5 1/2	10	
Décembre. . .	7 à 11	midi à 5	9	

Dans l'air comprimé le travail est continu, les équipes se remplacent de 6 heures en 6 heures, de sorte que chaque ouvrier travaille 12 heures par jour.

§ 4. — *Jours de repos.*

Les jours de repos sont les dimanches et les jours fériés ou admis comme tels par l'usage, savoir : le 1er janvier, Pâques, l'Ascension, la Pentecôte, la Fête Nationale, la Toussaint et Noël.

Mais le repos n'a généralement lieu que l'après-midi ; on travaille tous les dimanches jusqu'à 11 heures ; toutefois, peu d'ouvriers du pays veulent prendre part à ce travail du dimanche matin. Par contre, certains ouvriers préfèrent ne pas se reposer l'après-midi du dimanche, afin de gagner davantage ; d'autres sont retenus par des travaux urgents, de sorte que tout le monde ne profite pas régulièrement d'un demi-jour de repos par semaine.

Pour les travaux à l'air comprimé, il n'y a de jours de repos que quand une chambre est remplie, ou quand une machine soufflante a besoin de réparation, ou dans quelque autre cas fortuit.

§ 5. — *Emploi des jours de repos.*

L'emploi des jours de repos se fait de manières bien différentes suivant l'ouvrier que l'on considère :

L'ouvrier du pays reste généralement dans sa famille; il cultive son jardin ou fait ses provisions pour l'hiver; quelquefois il fréquente le cabaret.

L'ouvrier français étranger à la localité profite de son loisir pour les soins de propreté, mais il fréquente surtout le cabaret.

Les Italiens ou Autrichiens se réunissent entre eux au nombre de vingt ou trente; ils chantent en chœur, jouent de l'accordéon, se promènent ou lisent à haute voix des histoires de leur pays, ils se querellent rarement; enfin, sauf de très rares exceptions, ils ne sont pas agressifs vis-à-vis des Français.

Sur les chantiers où il n'y a que des Français, le travail est quelquefois interrompu le lundi faute d'ouvriers, en exceptant toutefois les travaux de maçonnerie, dont les ouvriers sont sobres et rangés; mais, comme sur nos chantiers nous avons beaucoup d'étrangers, le chômage du lundi est une exception rare. Le 1er octobre 1882, nous avons constaté sur le chantier du barrage de Poses la présence de 279 ouvriers dont :

	128	Français,
	73	Italiens,
	76	Autrichiens,
	2	Belges.
Total....	279	

§ 6. — *Suspension du travail en cas de mauvais temps.*

En cas de mauvais temps les ouvriers travaillent autant qu'ils le peuvent, car ils ne sont plus payés dès qu'ils quittent le chantier; on utilise autant que possible les ouvriers de métier, comme les maçons, forgerons, etc., à

des travaux à l'abri de la pluie; mais les terrassiers subissent un chômage complet, quand ils sont chassés du chantier par le mauvais temps.

§ 7. — *Nourriture.*

Les ouvriers de la localité prennent généralement leurs repas chez eux; mais la plupart des ouvriers se nourrissent aux cantines du chantier; quelques-uns cependant trouvent les prix des cantines trop élevés et préfèrent préparer eux-mêmes leurs aliments; dans ce cas, ils vivent deux par deux, préparent leur souper le soir en rentrant, et emportent les restes pour le déjeuner du lendemain.

La nourriture des cantines est à peu près la suivante :

1° Le matin, avant l'ouverture du chantier, une soupe ou plutôt un bouillon, dont le prix rentre dans celui du logement; l'ouvrier trempe son pain lui-même dans le bouillon, il prend ensuite un verre d'eau-de-vie ou de vin ou même un demi-litre de cidre avec du pain et du fromage; ce premier déjeuner coûte en moyenne. . . 0f,25

Quelquefois ce menu est remplacé par un bol de café noir avec du pain.

2° A onze heures : bouillon dans lequel l'ouvrier trempe encore son pain, une portion de bœuf avec légumes comprenant environ 165 grammes de viande; cette portion coûte avec le bouillon. 0f,50

Elle est quelquefois remplacée par une côtelette de mouton ou de porc, une tranche de gigot avec des légumes, etc., mais le prix de la portion est toujours de 0f,50.

Un fromage au prix de.	0f,10
Un demi-litre de vin..	0, 40
Le café noir avec eau-de-vie..	0, 40
Le dîner ainsi composé coûte environ.	1f,40

mais il ne comprend pas le pain; l'ouvrier achète habituellement un pain de 2 kilogrammes, qui dure un jour et demi.

3° Le repas du soir est à peu près le même que celui de onze heures; mais le bœuf est souvent remplacé par un ragoût de mouton, trois œufs ou un rôti quelconque.

Le repas du soir coûte en moyenne. 1f,20

Au lieu de servir à la portion, quelques cantines nourrissent à prix fixe; nous pouvons citer dans ce cas une cantine du chantier de la Garenne où prennent pension les tailleurs de pierre, mécaniciens et charpentiers à raison de. . . . . 2f,75 par jour non compris le coucher, ni le premier repas du matin; pour ce prix ils ont :

A onze heures, une soupe, deux plats de viande, un plat de légumes, une bouteille de vin, une demi-tasse de café avec eau-de-vie et du pain à discrétion;

Le soir, une soupe, deux plats de viande, un plat de légumes, une bouteille de vin et du dessert avec pain à discrétion.

Sur le bief de Rouen, la cantine est tenue par le chef dragueur à bord du bateau qui lui sert d'habitation; les prix courants sont les suivants :

Le matin, un bol de café noir.	0f,30
A midi, un potage.	0, 15
une portion de viande.	0, 40
une salade.	0, 20
un café.	0, 30
un litre de boisson.	0, 15
Le soir, comme à midi.	
Pain à discrétion pour toute la journée.	0, 80

Les ouvriers qui fréquentent cette cantine dépensent moyennement par jour pour leur nourriture. . . . 2f,25

Les détails qui précèdent ne s'appliquent pas aux Italiens ou Tyroliens, qui vivent par bandes et préparent eux-mêmes

leurs aliments; ils se réunissent au nombre de dix ou quinze, chargent l'un d'eux des acquisitions et des soins du ménage; dans certains cas, c'est la femme d'un de ces ouvriers étrangers qui prépare leur nourriture et s'occupe du blanchissage et du raccommodage.

Leur nourriture se compose ordinairement de farine de maïs ou de blé cuite avec de la graisse, de pâtes d'Italie, de pain, de lait, de fromage, de pommes de terre et d'environ 300 grammes de viande par jour et par individu; la boisson est de l'eau, rarement mélangée d'un peu de vin; la dépense ne dépasse guère. . . . . 1f,50 par homme. Cette nourriture nous paraît insuffisante, aussi l'ouvrier italien est-il plus mou que l'ouvrier français, et peut-être les entrepreneurs auraient-ils avantage à payer un peu plus cher les heures de travail dans l'air comprimé, de manière à pouvoir y employer des Français.

Nous laissons de côté l'étude de l'installation des Tyroliens pour donner quelques détails sur l'organisation et le règlement des comptes des cantines.

Chaque cantine comprend d'abord une cuisine dans laquelle est installé un grand poêle nommé « cuisinière, » qui sert à la cuisson des aliments; à côté est une pièce dans laquelle se trouve un comptoir et des tables de $0^{m},50$ de largeur, avec bancs de chaque côté; la plus grande de ces salles a 10 mètres sur 6, et une hauteur de $2^{m},50$; elle peut contenir 50 personnes; un poêle placé au milieu chauffe la pièce en hiver.

Au moment de l'arrivée des ouvriers à la cantine, les cuillères, fourchettes et couteaux sont sur les tables; à mesure que les ouvriers prennent place, une domestique demande à la cuisine les aliments désignés par chacun; ces aliments sont passés par un guichet et apportés sur la table. Après chaque repas, l'ouvrier se présente devant le comptoir, il rappelle au cantinier le détail de la dépense; le total est aussitôt inscrit d'une part sur le registre du

cantinier et d'autre part sur le carnet que l'ouvrier porte continuellement dans sa poche.

Tous les samedis, le cantinier se présente avec son registre au bureau de l'entreprise et reçoit un acompte sur le salaire de la semaine de l'ouvrier; cet acompte est inscrit à l'instant même sur le livre du cantinier par ce dernier, sans qu'il en soit autrement donné reçu. L'entreprise ne base pas le montant de l'acompte sur la dépense faite à la cantine, mais sur le salaire dû; elle ne conserve généralement en caisse que le montant d'une ou deux journées de travail. Après le repas du samedi soir, le cantinier et l'ouvrier règlent leur compte de la semaine; si les dépenses sont supérieures au total des acomptes reçus, l'ouvrier reste débiteur vis-à-vis du cantinier; si, au contraire, les acomptes dépassent les dépenses, le cantinier remet à l'ouvrier la différence, et le décompte est arrêté sur le registre du cantinier et sur le carnet de l'ouvrier.

En réalité c'est, comme on le voit, le cantinier qui touche pour l'ouvrier et qui se charge souvent de ses petites fournitures de vêtements et chaussures; cette manière de procéder exige une certaine délicatesse que l'on ne rencontre pas toujours chez les cantiniers. On sait en effet que l'établissement d'une cantine peut se faire librement et qu'il suffit aujourd'hui d'en faire la déclaration au maire de la commune, qui n'a aucune garantie préalable de moralité à demander au débitant; il en résulte en réalité des abus regrettables; les ouvriers consomment des aliments plus ou moins sains, ils boivent des alcools falsifiés, et on nous a cité un cantinier qui dévalisait les ouvriers pris de boisson et falsifiait leurs carnets.

Pour donner une idée des dépenses et de la comptabilité dont nous venons de parler, nous copions au hasard le décompte d'un manœuvre (le sieur Mary), sur le registre du cantinier Nouvelot du chantier de Notre-Dame de la Garenne, pour les mois de décembre 1881 et janvier 1882.

DATES.	DÉPENSES du sieur Mary Alexandre.	ACOMPTES de l'entreprise perçus par le cantinier.	OBSERVATIONS.
1881.	fr. c.	fr. c.	
2 décembre.	4 05		
3 —	2 10		
4 —	2 30		
5 —	2 20		
6 —	2 10		
7 —	3 65		
8 —	2 35		
9 —	5 25		
10 —	2 30	50 00	
11 —	5 65		
12 —	2 50		
13 —	3 55		
14 —	4 00		
15 —	2 30		
16 —	3 30		
17 —	2 85	20 00	
18 —	1 70		
19 —	1 60		
20 —	2 90		
21 —	1 50		
22 —	4 50		
23 —	2 20		
24 —	2 30	15 00	
25 —	3 20		
26 —	2 30		
27 —	1 65		
28 —	2 20		
29 —	2 30		
30 —	4 00		
31 —	34 60	40 00	Linge et effets.
1882.			
1 janvier.	10 80		Chaussures.
2 —	3 55		
3 —	5 80		
4 —	6 25		
5 —	3 15		
6 —	2 70		
7 —	7 05	20 00	
8 —	7 45		
9 —	5 45		
10 —	»		
11 —	3 40		
12 —	2 90		
13 —	2 75		
14 —	2 05	20 00	
15 —	1 30		
A reporter. .	181 90	165 00	

DATES.	DÉPENSES du sieur Mary Alexandre.	ACOMPTES de l'entreprise perçus par le cantinier	OBSERVATIONS.
	fr. c.	fr c.	
Report. .	181 90	165 00	
16 janvier.	1 60		
17 —	1 75		
18 —	5 70		
19 —	4 00		
20 —	1 15		
21 —	1 70	25 00	
22 —	1 65		
23 —	3 65	25 00	
24 —	1 25		
25 —	3 65		
26 —	1 20		
27 —	3 90		
28 —	3 15	30 00	
29 —	5 50		
30 —	7 75		
31 —	1 80		
1 février.	3 80		
2 —	5 95		
3 —	5 00		
4 —	5 65	25 10	
	12 00		2 mois de loyer.
Totaux. .	263 70	270 10	
Différence. .	6 40		

Le 4 février, le cantinier a remis au sieur Mary les 6 francs 40 formant l'excédent de ses acomptes, et le sieur Mary a quitté le chantier après avoir dépensé cet argent en boissons dans une autre cantine.

Du 2 décembre 1881 au 4 février 1882 il avait travaillé 689 heures à 0f,40 et avait ainsi gagné. 275f,60

A déduire, la retenue de 2 p. 100 faite par l'entrepreneur. 5f,50

Salaire payé. 270f,10

Le salaire a donc été complètement dépensé et l'ouvrier est parti sans argent.

En examinant les acomptes de chaque client, acomptes

qui, comme nous l'avons dit, diffèrent très-peu du montant du salaire dû, le cantinier connaît la somme gagnée par chacun; il sait donc à quel moment il doit arrêter ses fournitures pour ne pas se mettre en avance, et il ne court ainsi aucun risque, à moins que, par exception, à la suite d'une paye générale, l'ouvrier ne quitte le chantier avec l'argent qu'il a reçu directement et sans régler ses dépenses; dans ce cas, très rare, le cantinier n'a pour garantie que le petit mobilier abandonné et se composant généralement d'une pelle, d'une pioche, d'une blouse, d'une chemise, et d'un pantalon de toile.

§ 8. — *Logement.*

Les ouvriers se logent tantôt chez les habitants du voisinage, tantôt dans des granges ou des bâtiments sans emploi, tantôt dans les cantines.

Les chambres louées chez l'habitant se payent très cher, soit 15 à 20 francs et même 25 francs par mois; chaque chambre est munie d'un assez bon lit qu'occupent deux ouvriers.

Les Italiens et Autrichiens se logent de préférence dans les granges, par bandes de 10 à 30; les propriétaires y installent des lits en planches avec paillasses, chaque couchette est occupée par deux hommes qui payent chacun de 7 à 9 francs par mois.

Quant aux logements formant dépendances des cantines, ils sont habituellement placés sous les toits, au-dessus des salles de repas, la toiture, formée de tuiles ou de carton goudronné, laisse passage à l'air et aux variations extérieures de la température; chaque dortoir comprend de 5 à 12 lits dont chacun est occupé par deux hommes; la capacité intérieure du dortoir varie de $0^m,60$ à $0^m,75$ par homme, le cube d'air est donc insuffisant, mais les interstices de la toiture atténuent un peu ce défaut.

Les lits des cantines sont en bois grossièrement assemblé ou en fer; ils mesurent 1m,90 sur 1m,20; la literie se compose d'une paillasse, d'un matelas et d'un traversin en bourre, de deux draps en toile et de deux couvertures de laine. Chaque dortoir est muni d'une cruche à eau, d'une cuvette avec un torchon par semaine. Les ouvriers peuvent entrer ou sortir à toute heure par un escalier extérieur à la cantine. On n'y fournit pas de lumière. Les lits sont faits chaque jour ainsi que le nettoyage par les soins du cantinier.

Le logement se règle généralement tous les samedis en même temps que la nourriture. Le prix de location est de 6 francs ou de 9 francs, ce dernier prix comprend la fourniture du bouillon le matin.

§ 9. — *Vêtements.*

L'ouvrier français, autre que le « chemineau, » est généralement bien vêtu; son costume se compose, suivant les saisons, d'effets en toile ou en velours, sous lesquels il porte un tricot et quelquefois un caleçon; la chaussure est bonne et se compose de souliers ou de bottes; le linge est renouvelé tous les dimanches, sauf pour les Bretons, qui ne changent que tous les quinze jours.

Pour l'ouvrier du pays, les effets de rechange comprennent moyennement de trois à six chemises, un tricot, un caleçon, une cravate et quelques mouchoirs : quelques ouvriers remplacent les chaussettes par des linges.

Le chemineau est presque toujours vêtu misérablement et porte dans son mouchoir le peu de linge qu'il possède.

Les Italiens et Autrichiens arrivent toujours proprement vêtus avec leurs habits des dimanches; ils portent dans une malle ou dans un ballot leurs effets de travail et leur linge de rechange, se composant de trois à six chemises, deux bonnets de nuit, quelques mouchoirs, deux cravates

et deux paires de chaussettes. Le vêtement de travail consiste en un pantalon de drap, une chemise de grosse toile, une veste et un chapeau.

Le blanchissage et le raccommodage sont confiés généralement aux soins du cantinier, qui emploie les ménagères du pays; le cantinier paye la blanchisseuse et porte en compte la dépense sur le carnet de l'ouvrier.

Les prix de blanchissage sont les suivants :

Chemise.	0f,30
Pantalon de toile.	0, 25
Mouchoir.	0, 05
Gilet.	0, 25
Caleçon.	0, 25
Paire de chaussettes.	0, 10
Blouse.	0, 25

§ 10. — *Service médical.*

Le service médical est organisé sur les chantiers conformément aux prescriptions de l'arrêté ministériel du 15 décembre 1848 et des circulaires ministérielles des 25 juillet 1849 et 22 octobre 1851. Pour subvenir aux frais de ce service, les entrepreneurs font subir aux ouvriers une retenue de 2 p. 100 sur leur salaire.

On trouvera à la suite de cette étude le règlement appliqué sur les chantiers de la Garenne et de Poses et les clauses relatives à la caisse de secours pour les ouvriers de l'entreprise.

Un médecin spécial est affecté à chaque chantier et payé par abonnement; autant que possible nous nous entendons avec l'entrepreneur pour que le même médecin soit attaché aux ouvriers de l'entreprise et à ceux de la régie; il reçoit chaque mois 100 francs de l'entreprise et 25 ou 50 francs de la régie; il doit visiter le chantier une ou deux fois par semaine et venir dans les cas urgents. Il peut y avoir inconvé-

nient à s'abonner avec le médecin pour la fourniture des médicaments; cependant l'entrepreneur de l'écluse de Poses a adopté cette solution, et néanmoins le salaire mensuel d'abonnement n'est que de 100 francs.

Chaque chantier possède une boîte de secours.

Aucune plainte ne nous est parvenue au sujet du service médical.

Deux accidents ayant entraîné la mort ont amené deux transactions amiables à la suite desquelles les veuves ont reçu chacune 5000 francs pour toute indemnité; l'une de ces indemnités a été à la charge des entrepreneurs du barrage de Poses, l'autre à la charge de la régie (barrage de Port-Villez).

§ 11. — *Salaires.*

Les salaires sont moyennement les suivants :

1° Pour les agents payés au mois :

Chef dragueur	200f,00 à 250f,00
Mécanicien	225, 00 à 350, 00
Capitaine de drague	200, 00
Mousse	60, 00
Chauffeur	150f,00 à 200, 00
Chef de chantier.	150f,00, 180f,00, 300, 00 et 350, 00
Chaudronnier, forgeron	175, 00 à 190, 00

2° Pour les ouvriers payés à l'heure :

Chef terrassier	0f,50
Terrassier et manœuvre	0, 30 à 0, 45
Chef maçon	0, 70
Compagnon maçon	0, 62 à 0, 65
Tailleur de pierre	0, 70
Forgeron	0, 62
Ajusteur	0, 65
Mécanicien	0, 50
Chauffeur	0, 50
Chaudronnier	0, 60

Charpentier gâcheur.	0f,70
Charpentier compagnon.	0, 65
Charpentier du pays.	0, 60
Charron.	0, 60
Magasinier et gardien de nuit.	0, 50
Marinier.	0, 50
Plongeur au scaphandre.	2, 00
Chef d'équipe dans l'air comprimé.	0, 70
Manœuvre dans l'air comprimé.	0, 55

Les payements sont faits soit par des acomptes au cantinier, comme nous l'avons expliqué, soit directement au guichet de l'entreprise, à jour fixe, tantôt chaque quinzaine, tantôt chaque mois, suivant les dispositions prises par l'entrepreneur et affichées sur le chantier.

Les payements de l'entreprise sont toujours faits en argent et non en objets divers de consommation.

L'entreprise ne fait jamais d'avance, les acomptes restant toujours inférieurs ou égaux au salaire dû. Il peut y avoir exception à cette dernière règle en cas de maladie d'un ouvrier.

§ 12. — *Emploi des économies.*

Les terrassiers, les chauffeurs et les charpentiers ne font généralement aucune économie; ces derniers passent même pour laisser quelquefois des dettes sur le chantier, malgré leur salaire relativement élevé. L'ouvrier du pays qui, avant l'ouverture de nos chantiers, gagnait à peine les deux tiers de son salaire sur nos travaux, n'économise pas non plus; le cabaret absorbe la différence. Les Bretons font exception, ils font peu d'excès de boisson et emportent leur argent ou l'envoient à leur famille à raison de 25 francs à 60 francs par mois; il en est de même des maçons, qui envoient régulièrement à leur famille une somme d'argent, employée le plus souvent à l'acquisition de quelques parcelles de terre.

Les mécaniciens et forgerons ont généralement leur famille auprès d'eux; mais leur salaire est généralement employé dans le ménage, leur nourriture est plus confortable, mais ils font peu ou point d'économies.

Les Italiens et Autrichiens sont généralement sobres et envoient leurs économies à leur famille tous les deux ou trois mois; le total envoyé par chacun s'élève au bout de l'année de 400 francs à 600 francs.

CHAPITRE II.

BUDGET INDIVIDUEL DE DIVERS OUVRIERS.

§ 1er. — *Budget d'un ouvrier du pays employé comme manœuvre (chantier de Poses).*

Les renseignements ont été pris auprès de deux ménages habitant à Poses; chacun de ces ménages se compose du père ayant des habitudes régulières et une bonne conduite, de la mère et de deux jeunes enfants.

Voici pour chacun de ces deux ménages le montant de la dépense par an.

	1er ménage.	2e ménage.
Pain.	390f,00	379f, 60
Viande.	312, 00	254, 80
Légumes.	104, 00	117, 00
Beurre.	78, 00	93, 60
Fromage.	46, 80	39, 00
Boisson	153, 60	104, 00
Œufs.	59, 80	»
Lait.	91, 00	104, 00
Sel et poivre.	15, 00	13, 00
Café.	36, 40	39, 00
Sucre.	33, 80	39, 00

Eau-de-vie.	26f,00	26f,00
Savon et potassse.	39, 00	62, 40
Éclairage.	31, 20	20, 80
Chaussures.	78, 00	130, 00
Fil et laine.	15, 60	10, 40
Vêtements.	130, 00	104, 00
Combustible.	156, 00	130, 00
Logement.	117, 00	130, 00
Tabac.	36, 40	39, 00
Dépense totale annuelle.	1949f,60	1835f,60
Moyenne.	1892f,60	

Pour chacun de ces deux ménages, le salaire du père correspond pour toute l'année à 3200 heures de travail à 0f,40 formant un produit de	1280, 00	
Il reste donc à couvrir un excédent de dépenses de..	669f,60	
dans le premier ménage, et de.		555f,60
dans le second. Pour y parvenir, la femme va travailler en fabrique où elle gagne 60 francs par mois, soit pour l'année. 720f,00		
Mais pour aller en fabrique, il faut que les deux enfants soient donnés en garde à une personne étrangère moyennant un salaire mensuel de 45 francs, soit pour l'année. 540 00		
Différence.	180, 00	
de sorte qu'il reste encore un déficit de..	489f,60	
pour le premier ménage, et de.		375f,60
pour le second.		

Ce déficit ne peut être couvert que grâce à la charité publique.

Ce budget, qui n'est que trop réel, est le plus fâcheux de ceux que nous avons constatés, et nous répétons que cependant les deux chefs de famille sont rangés et laborieux.

Pour abréger, nous donnerons avec moins de détails les budgets des autres types d'ouvriers, nous bornant à indiquer les totaux dont nous avons tous les éléments.

§ 2. — *Budget d'un compagnon terrassier vivant à la cantine* (*chantier de la Garenne*).

Dépense de l'année.	1 287f,00
Salaire de l'année, 2950 heures à 0f,45. .	1 327, 50
Reliquat au bout de l'année.	40f,50

§ 3. *Budget d'un compagnon maçon vivant à la cantine* (*chantier de la Garenne*).

Dépense de l'année.	1 411f,35
Salaire de l'année, 2984 heures à 0 fr. 65.	1 939, 60
Reliquat au bout de l'année.	528f,25

§ 4.— *Budget d'un compagnon charpentier marié*, ayant un jeune enfant et habitant en famille près du chantier (*chantier de la Garenne*).

Dépense du ménage pendant l'année. . . .	2 121f,60
Salaire du mari, 3600 heures à 0 fr. 65. . .	2 340, 00
Reliquat au bout de l'année.	218f,40

§ 5. — *Budget d'un mécanicien marié*, ayant une fille de 14 ans et habitant en famille à 5 kilomètres du chantier (*chantier de la Garenne*).

Dépense du ménage pendant l'année. . . .	2 285f,40
Salaire du mari, 12 mois à 200 francs. . .	2 400, 00
Reliquat au bout de l'année.	114f,60

§ 6. — *Budget d'un charron marié*, père d'un jeune enfant (*chantier de Saint-Aubin*).

Dépense annuelle du ménage	Habitation.	150f,00	
	Vêtements et chaussures	250, 00	
	Nourriture, blanchissage, entretien. . . .	1400, 00	
	frais de maladie et de gardiennage de l'enfant.	160, 00	
			1 960f, 00
Recette	Salaire du mari.. . . .	1 800f, 00	
	Travail de la femme. . .	360, 00	
			2 160, 00
Reliquat au bout de l'année.			200f, 00

§ 7. — *Budget d'Alino Piétro, maçon italien travaillant à l'air comprimé* (*chantier de Saint-Aubin*).

Dépense de l'année.	900f,00
Salaire de l'année.	2 100, 00
Reliquat au bout de l'année.	1 200f, 00

L'économie réalisée est moins forte sur le chantier de Poses, où le budget d'un maçon italien travaillant à l'air comprimé est le suivant :

Dépense de l'année.	1 110f,00
Salaire de l'année, 3530 heures à 0f,45. . .	1 588, 50
Reliquat au bout de l'année.	478f,50

Ce type représente assez exactement la moyenne du budget d'un maçon italien travaillant dans les caissons, soit à l'air comprimé, soit à l'air libre.

Nous arrêtons ici le compte rendu de notre enquête, peut-être trouvera-t-on que nous sommes entré dans trop de détails et cependant nous avons cherché à abréger, conservant dans notre dossier bien des renseignements qui auraient par trop allongé notre étude.

Mantes, 22 octobre 1882.

ANNEXE N° 1.

CHANTIERS DE NOTRE-DAME DE LA GARENNE ET DE POSES.

RÈGLEMENT.

POUR LE SERVICE SANITAIRE, BASÉ SUR L'ARRÊTÉ DE M. LE MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS EN DATE DU 15 DÉCEMBRE 1848, MODIFIÉ PAR LES CIRCULAIRES DES 25 JUILLET 1849 ET 22 OCTOBRE 1851.

Art. 1er. — Les ouvriers atteints de blessures ou de maladies occasionnées par les travaux, après avoir reçu sur place les premiers secours de l'art, seront soignés gratuitement à l'hôpital ou à domicile.

Les entrepreneurs assureront l'exécution de ces prescriptions sous le contrôle de l'Administration, lequel sera exercé tant au point de vue des soins à donner aux malades que des dépenses à faire dans ce but.

Art. 2. — Afin de permettre et de faciliter ce contrôle, on procédera de la manière suivante :

Dès qu'un ouvrier tombera malade ou sera blessé sur le chantier, les entrepreneurs transmettront sans retard, au chef de section, un bulletin extrait d'un registre *ad hoc*

et composé de trois coupons sur lesquels seront indiqués le nom et les prénoms, l'âge, la profession, le domicile, le salaire du malade; s'il est marié, s'il est célibataire, s'il a des charges de familles, etc.

Le premier de ces coupons sera destiné au chef de section, le deuxième au médecin chargé de donner des soins au malade, le troisième à l'hôpital dans lequel devra être soigné le malade, s'il y a lieu.

Le chef de section, après avoir vu le malade, et s'être assuré qu'il appartient bien à l'entreprise et que la maladie ou l'accident peut être considéré comme conséquence des travaux, visera le bon destiné au médecin, et en cas d'urgence, avant même la visite du médecin, le bon destiné à l'hôpital.

Après examen du malade soit sur le chantier, soit à domicile, soit dans son cabinet, suivant la gravité de la maladie ou de la blessure, le médecin indiquera sur le coupon qui lui est remis :

1° La nature de la maladie ou de la blessure et de sa cause;

2° Si l'ouvrier doit-être soigné à domicile où à l'hôpital, et dans ce dernier cas visera le bon pour l'hôpital. De plus il délivrera également, s'il y a lieu, un bon pour la fourniture des médicaments nécessaires au malade.

Avis de cette première visite sera donné en temps opportun au chef de section pour qu'il puisse y assister, s'il le juge utile.

Quant aux bons délivrés par le médecin tant pour l'hôpital que pour médicaments, ils seront, sauf le cas d'urgence, soumis au visa du chef de section immédiatement après leur délivrance.

La marche indiquée dans ces deux derniers paragraphes sera suivie pour toutes les nouvelles visites ou les nouveaux bons que le médecin croirait devoir faire ou délivrer ultérieurement.

Après guérison du malade, le médecin des chantiers ou le médecin de l'hôpital, suivant le cas, fournira sur le coupon qui lui a été remis un rapport sommaire sur la maladie et l'état du malade, et certifiera la durée de l'interruption du travail.

Ces coupons, sur lesquels devront se trouver en outre les renseignements nécessaires pour établir les sommes à payer, soit au malade soit au médecin, soit à l'hôpital, soit au pharmacien, seront présentés de nouveau au chef de section qui, après vérification, y signera la mention : vu bon à payer.

Art. 3. — A la fin de chaque mois, les entrepreneurs remettront au chef de section un état récapitulatif, avec pièces à l'appui, des sommes payées par eux pendant le mois pour le service médical.

Après avoir vérifié cet état et complété s'il y a lieu les coupons restés entre ses mains, le chef de section transmettra à l'Ingénieur l'état en question et les pièces à l'appui pour recevoir l'approbation de ce dernier.

Art. 4. — Les dépenses ainsi approuvées serviront, à la fin de l'entreprise, de base pour le règlement de la partie disponible de la retenue de 1 p. 100 supportée par les entrepreneurs sur le montant des dépenses à l'entreprise.

Toutefois, au fur et à mesure de la vérification de ces dépenses, leur remboursement pourra être fait aux entrepreneurs s'ils en font la demande écrite.

Art. 5. — Les sommes à payer aux ouvriers malades seront ainsi réglées :

Pendant la durée de l'interruption forcée du travail qui sera constatée comme il a été dit à l'article 2, par le médecin des chantiers ou le médecin de l'hôpital, suivant le cas, il sera alloué moitié de leur salaire :

1° Aux ouvriers célibataires soignés à domicile ;

2° Aux ouvriers ayant des charges de famille soignées à domicile ou à l'hôpital;

3° Aux ouvriers mariés soignés à domicile ou à l'hôpital.

Lorsque par suite de blessures un ouvrier deviendra impropre au travail de sa profession, il lui sera alloué la moitié de son salaire pendant une année à partir du jour de l'accident.

Enfin, lorsqu'un ouvrier marié ou ayant des charges de famille aura été tué sur les travaux, ou aura succombé à la suite, soit de blessures, soit d'une maladie occasionnée par les travaux, sa veuve ou sa famille aura droit à une indemnité de 300 francs.

Les secours mentionnés aux deux paragraphes précédents pourront être augmentés par des décisions spéciales du Ministre des Travaux Publics, suivant la position et les besoins des victimes ou de leur famille.

Les ouvriers qui seront blessés dans un état d'ivresse ne pourront recevoir que des secours médicaux.

Art. 6. — Le médecin qui sera chargé par les entrepreneurs des soins à donner aux ouvriers devra être agréé par l'ingénieur, ainsi que les conventions à passer avec lui pour l'exécution de son mandat et la rémunération de ses soins.

Art. 7. — Le choix des hôpitaux où devront être soignés les malades devra également être approuvé par l'Ingénieur, ainsi que les conventions à passer avec eux pour les allocations à leur attribuer.

Art. 8. — Afin de faciliter le règlement des dépenses de médicaments, les entrepreneurs soumettront à l'approbation de l'Ingénieur un tarif arrêté au préalable par le médecin du chantier.

Afin de permettre de donner sur place aux malades et blessés les premiers soins réclamés par leur état, les entrepreneurs devront avoir sur le chantier :

1° Un local convenablement disposé ;

2° Une boîte de secours ;

3° Un brancard ;

4° Un approvisionnement de médicaments tenu constamment au complet;

5° Une instruction pour les premiers soins à donner aux blessés ou malades.

La disposition du local destiné à recevoir les malades, la composition de la boîte de secours, la nature du brancard, la liste des médicaments à approvisionner, enfin l'instruction pour les premiers soins à donner, seront arrêtés par l'ingénieur, sur la proposition du médecin des chantiers.

Les dépenses relatives à cette installation seront réglées sur les mémoires présentés par les entrepreneurs comme les autres dépenses relatives au service médical, et comprises dans les états récapitulatifs mensuels à fournir par lui.

Art. 9. — Indépendamment des visites à faire aux ouvriers malades, le médecin devra visiter les chantiers et signaler les causes de maladies qu'il pourrait remarquer; il devra en outre prescrire les précautions hygiéniques à prendre et indiquer ce qu'ont à faire pour se préserver des maladies les ouvriers travaillant dans l'eau ou dans les vases, suivant les saisons et en consultant les usages du pays.

Vernon, le 24 février 1880.

Dressé par l'Ingénieur ordinaire soussigné.
CAMÉRÉ.

ANNEXE N° 2.

CONSTRUCTION DE LA DÉRIVATION ÉCLUSÉE DE NOTRE-DAME DE LA GARENNE.

CAISSE DE SECOURS.

RÈGLEMENT APPLICABLE AUX OUVRIERS DE L'ENTREPRISE.

Art. 1er. — Une caisse de secours est instituée pour garantir les ouvriers de l'entreprise, afin d'assurer les

dispositions prévues par l'arrêté du 15 décembre 1848, la circulaire ministérielle du 22 octobre 1851, et l'article 16 des clauses et conditions générales de 1866.

Elle est alimentée :

Par une retenue de 2 p. 100 faite sur le salaire de chaque ouvrier, le surplus est fourni par l'entreprise jusqu'à concurrence de 1 p. 100 du montant des travaux.

Art. 2. — La retenue est obligatoire pour tous les ouvriers employés par l'entreprise.

Art. 3. — Les fonds provenant de ces retenues serviront au payement des indemnités convenues en cas d'accidents, dans les conditions spécifiées ci-dessous, ainsi qu'aux médicaments nécessaires et aux honoraires des médecins et à toutes les dépenses qui peuvent se rattacher au service de la caisse de secours.

Art. 4. — Tout ouvrier qui sera blessé pendant la durée de son service ou de son travail, que ce service ou ce travail soit effectué dans les ateliers, les chantiers ou ailleurs, mais pour le compte de l'entreprise, recevra une indemnité d'après les bases suivantes :

1° *Ouvriers célibataires.*

Pendant son séjour à l'hospice. . . . . 0^f,15 par jour

En dehors de l'hospice jusqu'à la reprise du travail. . . . . 1^f,25 à 1^f,75

2° *Ouvriers mariés.*

Pendant son séjour à l'hospice. . . . . 1^f,00 à 1^f,25

En dehors de l'hospice, jusqu'à la reprise du travail, suivant les besoins de leurs familles. . . . . 1^f,50 à 2^f,00

Art. 5. — Tout accident entraînant une incapacité permanente et absolue de travail, tel que la perte de la vue ou l'usage des deux membres donnera droit, en faveur de la victime de l'accident, à une rente viagère de 300 francs.

Tout accident entraînant une incapacité de travail professionnel, tel que la perte d'une jambe, d'un pied, d'un bras ou d'une main, donne droit à une indemnité fixe de *mille francs*.

En cas de mutilation partielle telle que la perte d'un œil, de trois doigts de la main ou du pied, l'ouvrier aura droit à une indemnité fixe de *cinq cents francs*.

Art. 6. — En cas de mort survenue dans les trois mois de l'accident, un capital de *deux mille francs* sera remis aux enfants mineurs du sinistré ; s'il laisse une veuve, ledit capital sera partagé par moitié entre les enfants mineurs et la veuve, qui, dans tous les cas, n'a droit qu'à la moitié de l'indemnité.

A défaut d'enfants ou de veuve, un quart de l'indemnité appartiendra par égale portion au père et à la mère sexagénaires de la victime.

Art. 7. — N'auront pas droit à la caisse de secours les personnes atteintes d'une maladie ou d'une infirmité grave ou permanente. La mort ou l'incapacité de travail provenant d'anévrisme, de congestion, d'érésipèle, de hernie, de rhumatisme, d'ulcères variqueux ou de toute autre maladie ou infirmité, ou d'une cause secondaire entraînant la mort ou l'incapacité, ne donneront pas droit à indemnité.

Art. 8. — Les blessures ou cas de mort résultant de l'ivresse manifeste, d'infractions volontaires aux règlements publics ou de l'entreprise relatifs à la sûreté des personnes, de rixes ou de luttes, sont exclus des bénéfices de la caisse de secours.

Celui qui aura employé sciemment des moyens ou documents mensongers, à l'effet d'exagérer les suites de l'accident, est entièrement déchu de tous ses droits à une indemnité.

Art. 9. — Tout ouvrier renvoyé des travaux ou les quittant volontairement cesse d'avoir droit à la caisse de secours.

Dans ce cas il n'y a lieu à aucune restitution des sommes versées à la caisse de secours, ces sommes ayant servi à couvrir le risque d'accident pendant le temps qu'il a existé.

Art. 10. — L'engagement au service de l'entreprise comporte que l'ouvrier accepte les obligations et conditions du présent règlement, qu'il s'oblige à les respecter et les exécuter fidèlement, et qu'il reconnaît que les sommes stipulées sont suffisantes pour l'indemniser des accidents qui pourraient lui arriver pendant le cours et la durée de son service ou de ses travaux.

Nota. — Tout accident provenant par imprudence, négligence et inhabileté de l'ouvrier ne donnera pas lieu à indemnité.

A Notre-Dame de la Garenne, le 20 novembre 1879.

Les entrepreneurs,
PRÉGERMAIN frères.

N° 18

NOTE

SUR

LA MARCHE DES BATEAUX A VAPEUR EN COURBE

Par M. GUIBAL, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

CONSIDÉRATIONS PRÉLIMINAIRES.

L'étude générale du mouvement des bateaux en courbe doit être considérée un peu différemment, suivant qu'il s'agit de barques halées dans un canal, ou de bateaux portant eux-mêmes leur moteur, tel qu'une voilure, une hélice ou des roues à palettes agissant dans le sens de leur longueur.

Le premier cas, qui a fait l'objet d'une note insérée récemment dans les *Annales* (février 1881), est de beaucoup le plus complexe et ne nous paraît pas entièrement résolu par les formules qu'elle renferme, car ces formules sont basées sur l'hypothèse, pratiquement inexacte, du parallélisme de l'effort de traction à l'axe du bateau et sur

(*) Les principaux résultats de cette note ont été consignés dans un rapport joint à un avant-projet de canal de grande navigation du Rhône au port de Cette, le 5 octobre 1881. Nous avons été conduit à étudier cette question avec assez de détails, à cause des formes et des dimensions exceptionnelles des vapeurs qui devaient fréquenter le nouveau canal. Ces vapeurs, que l'on ne rencontre guère que sur le Rhône et sur la Saône, ne peuvent être mieux définis qu'en les comparant à de longues aiguilles de 130 à 140 mètres de longueur, pour lesquelles les canaux ordinaires tels qu'ils sont établis ne seraient pas accessibles.

une évaluation incomplète des efforts auxquels est soumise la barque dans son mouvement (*).

Le grand nombre de variables ou d'arbitraires que renferme le premier problème ne le rend pas susceptible d'une solution théorique simple. C'est plutôt une affaire de sentiment, dirigé par une connaissance approfondie des convenances ou des usages de la navigation, et par l'observation des faits.

En réalité, un bateau halé pourra décrire une courbe quelconque et même simplement pivoter, sauf à disposer convenablement le point d'attache et la direction de l'effort.

Il n'en est pas ainsi pour un bateau automoteur qui ne dispose, pour régler son allure — c'est du moins le cas le plus général et le seul dont nous nous occuperons ici — que d'un effort de traction plus ou moins considérable, dirigé suivant son axe, et de son gouvernail.

Soit un bateau AB, supposé, pour simplifier, rectangulaire et dont le gouvernail BC fait un certain angle β avec l'axe (*fig.* 4, Pl. 12).

Appelons :

R, la réaction normale du gouvernail,

T et Q, ses composantes transversale et longitudinale,

Φ, la force centrifuge appliquée en G, milieu de AB,

P et P', deux forces transversales que nous allons définir.

On paraît admettre généralement que dans le mouvement curviligne, le point de contact de la courbe-enveloppe de l'axe du bateau est le point G, milieu de AB.

Nous allons prouver que deux causes distinctes concourent pour reporter toujours ce contact en un certain point M en avant ou à gauche de G : ces actions sont *la force centrifuge* et *l'obliquité du gouvernail.*

(*) L'effort sur le gouvernail notamment et la force centrifuge ont été omis.

Supposons en effet pour un instant que G soit le point de contact. Appelons V la vitesse du point G, ρ le rayon de la courbe *mn*, et admettons enfin que le bateau soit arrivé à l'état de mouvement uniforme; il doit y avoir équilibre entre tous les efforts agissant directement sur le bateau.

Les deux faces transversales A et B éprouvent de la part du liquide des réactions normales dues, l'une à la pression directe, l'autre à la non-pression, et agissant dans le même sens.

La rotation détermine sur la face antérieure de AG une certaine réaction normale composée d'une somme de termes ne dépendant que d'un coefficient constant, de la position de la surface élémentaire de largeur dx considérée et de l'angle des filets liquides en ce point avec l'axe du bateau. La face postérieure de AG éprouvera une non-pression agissant dans le même sens que la précédente et qui n'en différera très sensiblement, si l'on suppose le bateau étroit, que par un coefficient numérique : au total on aura la force P.

Sur les faces postérieure et antérieure de GB, on aura par symétrie des actions identiques, mais dirigées en sens inverse, dont le total P' égal à P sera à la même distance de G que P.

Or, pour l'équilibre statique, on devrait avoir transversalement :

$$P' = P + T + \Phi$$

égalité impossible si P' est égal à P, car T et Φ sont nécessairement positifs et plus grands que zéro.

Il faut donc que l'on ait :

$$P' > P.$$

c'est-à-dire que le point de contact se trouve en M à gauche du point G. Il peut d'ailleurs sortir du bateau :

c'est même le cas le plus fréquent en pratique, ainsi que nous le verrons plus loin (*).

Ce premier principe étant établi nous allons résoudre successivement plusieurs questions.

§ 1. — POSITION DU POINT DE CONTACT M ET VALEUR DU RAYON DE LA TRAJECTOIRE DE CE POINT POUR UNE INCLINAISON DONNÉE DU GOUVERNAIL.

Nous compléterons les premières notations par les suivantes :

2L, longueur du bateau,

b, largeur,

λ, longueur du gouvernail,

h, tirant d'eau,

h', hauteur immergée du gouvernail (assez généralement égale à h),

β, angle du gouvernail avec l'axe du bateau,

d, distance du point M au milieu G de AB.

Ajoutons enfin que ρ et V sont le rayon de la courbe décrite par le point M et sa vitesse.

Nous devons considérer deux cas, suivant que M est à droite ou à gauche de A, c'est-à-dire sur l'axe du bateau ou dans son prolongement.

PREMIER CAS. — M *entre* G *et* A.

Nous calculerons successivement chacun des efforts qui agissent sur le bateau en marche uniforme (*fig.* 5).

1° *Réaction de l'eau sur les parois du bateau.* — La réaction normale des filets liquides sur la paroi HK est représentée par

$$Mh\int_{H}^{K}\frac{V'^2}{2g}\sin^2\alpha\,dx.$$

(*) Cela peut ne pas avoir lieu pour des barques halées dans un canal.

M étant un coefficient numérique, V′ la vitesse de l'élément dx à la distance x du point H, et α l'angle des filets liquides avec l'élément considéré.

La largeur du bateau étant petite par rapport à sa longueur, on peut admettre que V′ est le même pour chacun de ces points, et égal à la valeur moyenne en A, et que de même α est constant et égal à l'angle en A.

Nous avons donc :

$$V' = V\sqrt{1+\left(\frac{L-d}{\rho}\right)^2}$$

et

$$\sin\alpha = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{L-d}{\rho}\right)^2}};$$

l'intégrale devient donc :

$$Mh\frac{V^2}{2g}\int_0^b dx,$$

soit :

$$Mbh\frac{V^2}{2g},$$

et, en ajoutant le terme dû à la non-pression sur LN :

$$(M+M')\,bh\frac{V^2}{2g}.$$

soit donc :

$$E = K_1 bh\frac{V^2}{2g}.$$

La détermination exacte des efforts développés sur les faces HK et LN ne présenterait pas de difficultés, mais les valeurs seraient assez complexes. On trouverait que le rapport de l'effort total à l'effort E diffère de l'unité d'une quantité comparable à $\frac{b^8}{8L^3}$, et que cet effort, légèrement excentrique à l'axe du bateau, donne un moment autour du

point M, comparable à $\left(\frac{b}{L}\right)^4$. Or le terme $\frac{b^3}{8L^3}$ est égal dans le cas des vapeurs du Rhône à $\frac{1}{7500}$, et dans le cas des barques de canal ordinaire à $\frac{1}{300}$, quantités insignifiantes. En outre, l'excentricité de cette force est sensiblement contre-balancée par celle de la composante longitudinale du gouvernail.

Nous pouvons donc admettre, sans erreur appréciable :

$$(1) \qquad E = K_1 bh \frac{V^2}{2g}.$$

C'est l'effort de traction nécessaire pour mouvoir un bateau en ligne droite avec une vitesse V. — K_1 est un certain coefficient variable avec la forme plus ou moins effilée des bateaux.

La paroi HU, que l'on peut supposer confondue avec AM, éprouve une réaction normale représentée par :

$$Kh \int_M^A \frac{V'^2}{2g} \sin^2 \alpha \, dx.$$

Dans cette expression, V' est la vitesse de l'élément S de largeur dx à la distance x du point M et α l'angle du filet liquide correspondant avec la paroi AM. Le coefficient K est la somme des coefficients dus à la pression directe et à la non-pression. Il est d'ailleurs plus grand que K_1, car on peut le considérer comme se rapportant à une plaque rectangulaire très courte par rapport à ses dimensions transversales.

Or, on a :

$$V' = V \frac{OS}{OM} = V \sqrt{1 + \frac{x^2}{\rho^2}};$$

de plus

$$\text{tg}\, \alpha = \frac{x}{\rho}$$

d'où :

$$\sin\alpha = \frac{\frac{x}{\rho}}{\sqrt{1+\frac{x^2}{\rho^2}}}$$

l'expression précédente devient :

$$Kh\frac{V^2}{2g}\ \frac{1}{\rho^2}\int_o^{L-d} x^2 dx.$$

Donc :

$$(2) \qquad P = Kh\frac{V^2}{2g}\,\frac{1}{\rho^2}\,\frac{(L-d)^3}{3}.$$

On aura de même :

$$(3) \qquad P' = Kh\frac{V^2}{2g}\,\frac{1}{\rho^2}\,\frac{(L+d)^3}{3}.$$

Le moment de P par rapport au point M est égal à :

$$Kh\int_M^A \frac{V'^2}{2g}\sin^2\alpha\, x dx,$$

ou

$$Kh\frac{V^2}{2g}\,\frac{1}{\rho^2}\int_o^{L-d} x^3 dx,$$

soit :

$$(4) \qquad M_P = Kh\,\frac{V^2}{2g}\,\frac{1}{\rho^2}\,\frac{(L-d)^4}{4}$$

et

$$(5) \qquad M_{P'} = Kh\,\frac{V^2}{2g}\,\frac{1}{\rho^2}\,\frac{(L+d)^4}{4}.$$

2° *Reaction sur le gouvernail.* — La longueur du go vernail étant toujours très faible par rapport à celle du bateau, nous pouvons admettre que les variations de l'incli-clinaison des filets liquides sur ses différents éléments verticaux sont négligeables.

Nous aurons donc, en appelant γ l'angle MOB :

$$R = K'\lambda h \frac{V'^2}{2g} \sin^2(\beta - \gamma),$$

V′ étant la vitesse du point B. Or, on a :

$$V' = V \frac{OB}{OM} = V \sqrt{1 + \left(\frac{L+d}{\rho}\right)^2}.$$

En outre

$$\mathrm{tg}\,\gamma = \frac{L+d}{\rho}, \quad \sin\gamma = \frac{\frac{L+d}{\rho}}{\sqrt{1+\left(\frac{L+d}{\rho}\right)}}, \quad \cos\gamma = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{L+d}{\rho}\right)^2}}.$$

Développons $\sin(\beta - \gamma)$, il vient :

$$\sin(\beta - \gamma) = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{L+d}{\rho}\right)^2}} \left\{ \sin\beta - \frac{L+d}{\rho} \cos\beta \right\}.$$

On a donc :

$$R = K'\lambda h' \frac{V^2}{2g} \left\{ \sin\beta - \frac{L+d}{\rho} \cos\beta \right\}^2,$$

et par suite :

$$(6) \qquad T = K'\lambda h' \frac{V^2}{2g} \left\{ \sin\beta - \frac{L+d}{\rho} \cos\beta \right\}^2 \cos\beta.$$

$$(7) \qquad Q = K'\lambda h' \frac{V^2}{2g} \left\{ \sin\beta - \frac{L+d}{\rho} \cos\beta \right\}^2 \sin\beta.$$

3° *Force centrifuge.* — La force centrifuge est dirigée suivant OG et égale à

$$\Phi = m \frac{V'^2}{\rho'},$$

m étant la masse du bateau, V′ et ρ' la vitesse et le rayon relatifs au point G.

En appelant δ l'angle MOG, la composante transversale φ de la force centrifuge est :

$$\varphi = m \frac{V'^2}{\rho'} \cos\delta.$$

Or,

$$V' = V\frac{OG}{OM} = V\sqrt{1+\left(\frac{d}{\rho}\right)^2},$$

$$\rho' = \rho\frac{OG}{OM} = \rho\sqrt{1+\left(\frac{d}{\rho}\right)^2}.$$

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{\delta}{\rho}, \qquad \sin\delta = \frac{\frac{\rho}{d}}{\sqrt{1+\left(\frac{d}{\rho}\right)^2}}, \qquad \cos\delta = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{d}{\rho}\right)^2}}.$$

On a donc :

$$\varphi = m\frac{V^2}{\rho}.$$

Or, la masse m d'un bateau est égale au produit des trois dimensions de la partie immergée, divisé par l'accélération de la pesanteur et multiplié par un certain coefficient μ, dépendant de la forme de la carène. On a donc en définitive :

$$\varphi = \frac{2\mu}{g}Lbh\frac{V^2}{\rho}, \tag{8}$$

et la composante longitudinale ψ est égale à :

$$\psi = \frac{2\mu}{g}Lbh\frac{V^2}{\rho}\frac{d}{\rho}. \tag{9}$$

Équations d'équilibre. — Les neuf expressions ci-dessus vont nous permettre de poser les équations d'équilibre qui résolvent le problème.

Nous ne nous occuperons pas pour le moment de l'équation de l'équilibre longitudinal : elle contient, en effet, une inconnue spéciale, *l'effort de traction*, dont nous réservons l'étude pour un autre paragraphe.

Annulons la somme de toutes les forces transversales, nous avons :

$$T + \varphi = Kh\frac{V^2}{2g}\frac{1}{\rho^2}\frac{(L+d)^3-(L-d)^3}{3}.$$

Prenons en outre les moments autour du point M. Nous supposerons le moment de la composante longitudinale du gouvernail négligeable, car son bras de levier est très petit; nous avons vu, d'ailleurs, que l'action longitudinale des filets liquides sur le bateau était comme moment un terme très faible, comparable à celui-ci et de sens contraire; ils s'annulent donc sensiblement.

L'équation des moments devient alors :

$$T(L+d)+\varphi d = Kh\frac{V^2}{2g}\frac{1}{\rho^2}\frac{(L+d)^4-(L-d)^4}{4}.$$

Multiplions la première équation par $(L+d)$ et retranchons-en la seconde, il vient :

$$\varphi L = Kh\frac{V^2}{2g}\frac{1}{\rho^2}\left\{\frac{(L+d)^3-(L-d)^3}{3}(L+d)-\frac{(L+d)^4-(L-d)^4}{4}\right\};$$

multiplions encore la première par d et retranchons-la de la seconde :

$$TL = Kh\frac{V^2}{2g}\frac{1}{\rho^2}\left\{\frac{(L+d)^4-(L-d)^4}{4}-d\frac{(L+d)^3-(L-d)^3}{3}\right\}.$$

Remplaçons φ et T par leurs valeurs, supprimons le facteur commun $\frac{V^2}{2g}$, multiplions par ρ^2, divisons par L^4, et posons :

$$\frac{d}{L}=x,\quad \frac{\rho}{L}=z,\quad \frac{b}{L}=m,\quad \frac{\lambda}{L}=n.$$

il vient, toutes simplifications faites dans les seconds membres :

$$(A)\left\{\begin{aligned} z &= \frac{K}{24\mu}\frac{1}{m}(x^4+x^3-6x^2+12x-3)\\ z^2 &= \frac{K}{6K'}\frac{h}{h'}\frac{1}{n}(3+6x^2-x^4)\frac{1}{\left(\sin\beta-\frac{1+x}{z}\cos\beta\right)^2\cos\beta}.\end{aligned}\right.$$

Ce système de deux équations résout algébriquement le

problème, dans le cas où le point M se trouve à l'intérieur du bateau.

Avant de le discuter, nous poserons le système qui correspond au cas où M est en avant.

DEUXIÈME CAS. — *M au delà du point* A.

Les seules quantités qui changent de forme sont P et P′; P disparaît et P′ devient égal à une somme de termes semblables à ceux du premier cas. Les limites d'intégration seules sont modifiées et deviennent $(d-L)$ et $(d+L)$ au lieu de 0 et $(L+d)$.

On a donc :

$$P_1 = 0 \qquad P'_1 = Kh\frac{V^2}{2g}\frac{1}{\rho^2}\int_{d-L}^{d+L} x^2 dx,$$

Soit :

$$P'_1 = Kh\frac{V^2}{2g}\frac{1}{\rho^2}\frac{(d+L)^3-(d-L)^3}{3}, \tag{10}$$

et de même :

$$M_{P'_1} = Kh\frac{V^2}{2g}\frac{1}{\rho^2}\frac{(d+L)^4-(d-L)^4}{4}. \tag{11}$$

En posant les mêmes équations d'équilibre, adoptant les mêmes notations, et faisant des simplifications analogues, on a :

$$(A')\quad \begin{cases} z = \dfrac{K}{6\mu}\dfrac{1}{m}(3x^2-2x+1) \\ z^2 = \dfrac{4K}{3K'}\dfrac{h}{h'}\dfrac{1}{n}x\dfrac{1}{\left(\sin\beta - \dfrac{1+x}{z}\cos\beta\right)^2\cos\beta}. \end{cases}$$

Suivant les circonstances, le système (A), ou le système (A′), permettent de déterminer x et z, c'est-à-dire la position du point M et le rayon correspondant pour une valeur donnée de l'angle β du gouvernail.

Il y a lieu de remarquer que la vitesse a disparu de ces

équations; le rayon et la position du point de contact sont donc indépendants de la vitesse de marche (*).

Choix entre les formules. — Dans la pratique, il faut pouvoir reconnaître *à priori* si les deux séries de formules (A) et (A′) sont applicables, ou s'il faut recourir seulement à la série (A′).

Le passage d'une formule à l'autre a lieu pour $x = 1$. Or, pour $x = 1$, on a dans l'un et l'autre cas :

$$z = \frac{K}{3\mu} \frac{1}{m},$$

$$z^2 = \frac{4K}{3K'} \frac{h}{h'} \frac{1}{n} \frac{1}{\left(\sin\beta - \frac{2}{z}\cos\beta\right)^2 \cos\beta}.$$

La seconde expression peut s'écrire, en tenant compte de la première :

$$(a) \qquad \left(\sin\beta - \frac{6\mu m}{K}\cos\beta\right)^2 \cos\beta = 12 \frac{\mu^2}{KK'} \frac{h}{h'} \frac{m^2}{n}.$$

Le premier système (A) ne sera évidemment applicable que si le maximum du premier membre est égal ou supérieur au second.

On a donc la condition :

$$(b) \qquad \text{Max.} \left(\sin\beta - \frac{6\mu m}{K}\cos\beta\right)^2 \cos\beta \geqslant 12 \frac{\mu^2}{KK'} \frac{h}{h'} \frac{m^2}{n}.$$

Cette inégalité tranchera la question dans tous les cas. On reconnaît facilement que pour la plupart des bateaux ou navires, elle ne sera pas satisfaite et qu'il faudra dès lors appliquer uniquement les formules (A′).

En d'autres termes, on peut admettre qu'avec les formes habituelles des bateaux, le point de contact M sera toujours en avant de la proue.

Nous allons vérifier qu'il en est bien ainsi pour le type

(*) En supposant, bien entendu, que les coefficients de résistance au mouvement du bateau sont indépendants de la vitesse.

des vapeurs naviguant sur le Rhône. Nous admettrons pour ce type :

$$\mu = 0,80$$
$$K = K' = 1,20$$
$$m = n = \frac{1}{11}$$
$$h = h',$$

l'inégalité (b) devient :

$$\text{Max.} \left(\sin\beta - \frac{4}{11}\cos\beta\right)^2 \cos\beta \geq \frac{16}{33}.$$

Le maximum du premier membre a lieu pour la valeur de β annulant sa dérivée.

$$-\sin\beta\left(\sin\beta - \frac{4}{11}\cos\beta\right)^2 + 2\cos\beta\left(\cos\beta + \frac{4}{11}\sin\beta\right)\left(\sin\beta - \frac{4}{11}\cos\beta\right) = 0.$$

La solution

$$\sin\beta - \frac{4}{11}\cos\beta = 0$$

ne satisfait pas, puisqu'elle réduit le premier membre de (b) à zéro ; on a donc :

$$-\sin^2\beta + \frac{4}{11}\sin\beta\cos\beta + 2\cos^2\beta + \frac{8}{11}\sin\beta\cos\beta = 0,$$

d'où

$$\text{tg}^2\beta - 3\,\frac{4}{11}\,\text{tg}\,\beta - 2 = 0,$$

d'où

$$\text{tg}\,\beta = 2,06,$$

et l'on a :

$$\text{Max.} = 0,235,$$

valeur inférieur à $\frac{16}{33}$.

Nous n'aurons donc qu'à considérer ici les formules (A').

Faisons enfin une dernière remarque sur les équations (A').

Si nous supposons que le rayon de la trajectoire grandisse indéfiniment, et si nous considérons ce qui se passe pour z infini, c'est-à-dire quand la trajectoire devient rectiligne, la première équation donne x infini ; en d'autres termes, le point de contact est asymptotique à l'axe du bateau à mesure que la courbure diminue.

On trouve sans peine l'angle du gouvernail correspondant à z infini. La seconde équation peut en effet s'écrire :

$$\left(\sin\beta - \frac{1+x}{p(3x^2-2x+1)}\cos\beta\right)^2\cos\beta = \frac{p'}{p^2}\frac{x}{3x^2-2x+1},$$

p et p' étant deux constantes. Si nous supposons x infini, ce qui correspond aussi à z infini, il vient :

$$\sin^2\beta\cos\beta = 0,$$

équation satisfaite pour

$$\beta = 0 \qquad \beta = 90°;$$

ce qui était évident *à priori*.

§ 2. — RAYON MINIMUM DE LA TRAJECTOIRE D'UN BATEAU EN PLEINE EAU.

La marche générale que nous allons suivre est applicable dans tous les cas, mais comme elle exige des tâtonnements, nous prendrons un exemple numérique correspondant au type des vapeurs naviguant sur le Rhône.

Nous avons :

$2L = 140^{m},00 \quad b = 6^{m},55 \quad \lambda = 5^{m},80 \quad K = K' = 1^{m},20 \quad \mu = 0,80.$

Nous supposerons en outre $h = h'$.

Les équations (A′) deviennent :

$$(1) \qquad z = 2,75\,(3x^2 - 2x + 1)$$

$$(2) \qquad z^4 = 16x\frac{1}{\left(\sin\beta - \frac{1+x}{z}\cos\beta\right)^2\cos\beta},$$

équations dans lesquelles x doit être supérieur à l'unité.

Nous nous proposons de déterminer le minimum de z.

Pour cela, remarquons qu'en adoptant une valeur arbitraire de x, l'équation (1) nous donne une valeur correspondante de z.

Or, il est évident que tous les systèmes de valeurs de x et de z tirés de l'équation (1) qui donneraient pour $f = \frac{16x}{z^2}$ une valeur supérieure au maximum de $F = \left(\sin\beta - \frac{1+x}{z}\cos\beta\right)^2 \cos\beta$, serait inadmissible, et que le système des plus petites valeurs simultanées de x et de z, pour lequel le maximum de F serait précisément égal à f, sera celui qui résout le problème.

On trouve ainsi par des tâtonnements très rapides que le maximum de z correspond à une valeur de x comprise entre 1,21 et 1,22, mais très voisine de 1,22. Nous admettrons

$$x = 1{,}22,$$

d'où

$$z = 8{,}40 \qquad tg\,\beta = 1{,}865 \qquad \beta = 61°48.$$

Le rayon minimum de la courbe que peut décrire le point M du bateau considéré est donc

$$\rho = 70 \times 8{,}4 = 588 \text{ mètres},$$

soit un peu moins de 600 mètres (*).

Ce résultat paraît être en contradiction avec ce qui se passe sur le Rhône, où les mêmes vapeurs tournent dans des courbes plus raides (350 à 400 mètres), mais cette anomalie n'est qu'apparente.

Nous n'avons considéré, en effet, que le cas d'un bateau évoluant en eau morte ; sur le Rhône, le courant, générale-

(*) Ce chiffre devrait être multiplié par un certain coefficient facile à déterminer, pour l'appliquer aux courbes des canaux dont les rayons correspondent à leur axe. Mais ce coefficient ne diffère de l'unité que d'une quantité négligeable.

ment assez rapide, vient en aide aux vapeurs et leur permet de décrire des courbes de rayon inférieur à 600 mètres, à la condition toutefois que le chenal soit assez large.

Considérons, par exemple, le cas de la descente et supposons deux alignements droits du chenal réunis par une courbe d'un rayon moindre que 600 mètres (*fig.* 6).

Le bateau étant arrivé en un point tel que B ne pourrait continuer sa marche sans aller piquer de l'avant dans la berge concave, il fait alors machine arrière, de façon à rester stationnaire dans le courant ; il actionne en même temps son gouvernail de telle sorte que le courant, le prenant par le travers, le rejette suivant A'B en le faisant tourner d'un certain angle.

A ce moment, il fait machine avant et peut ainsi parcourir un élément plus ou moins étendu de la courbe, et en renouvelant cette manœuvre un nombre de fois suffisant, il atteint le second alignement droit.

A la remonte, la manœuvre est analogue.

Les formules (A') ont une signification géométrique assez simple (*fig.* 7).

La première représente une parabole à axe vertical, dont le sommet correspond à $x = \frac{1}{3}$. D'après ce que nous avons vu, cette parabole ne doit servir que pour la portion comprise au delà de $x = 1$.

Si, dans la seconde formule, nous remplaçons z par sa valeur en fonction de x, et si nous posons

$$tg\,\beta = y,$$

nous aurons une nouvelle équation en x et y qui, après développement, serait du douzième degré.

En ne considérant que la branche comprise entre les x et les y positifs, nous savons que dans le cas d'un rayon infini, c'est-à-dire pour $x = +\infty$, nous avons deux solu-

tions $\beta = 0$ ou $\beta = 90^\circ$, soit $y = 0$ et $y = +\infty$. Cette branche est donc d'un côté asymptote à l'axe des x positifs.

L'équation peut en effet s'écrire sans développer

$$[2.75(3x^2 - 2x + 1)y - (1 + x)]^4 = 256x^2(1 + y^2)^3.$$

Les directions asymptotiques sont données par

$$\overline{8,25}^4 x^8 y^4 = 0,$$

soit $x = 0$ et $y = 0$. Elles sont donc respectivement parallèles et perpendiculaires à l'axe des x.

On sait d'ailleurs que les distances à l'origine des saymptotes d'une courbe $\varphi(x,y) = 0$ de degré m sont représentées par

$$-\frac{\varphi_{m-1}(x,y)}{\varphi'_m(x,y)}$$

en remplaçant x par 1 et y par le coefficient angulaire c de l'asymptote correspondante, la dérivée φ' étant prise par rapport à y. Dans l'espèce, cette expression se réduit à Pc, P étant un coefficient numérique. La distance à l'origine est nulle pour l'asymptote horizontale et infinie pour l'asymptote verticale.

La courbe est donc asymptotique à l'axe des x positifs, et la seconde asymptote de la même branche est rejetée à l'infini.

Sans entrer dans la discussion complète de cette courbe, ce qui sortirait de notre sujet, nous ferons observer que la branche qui nous intéresse doit avoir un point où la tangente est verticale, et cela évidemment, d'après les données du problème, dans l'angle des axes positifs. La recherche de ce point où la tangente est verticale, c'est-à-dire où

$$\frac{d\varphi}{dy} = 0,$$

reviendrait précisément à faire les opérations déjà effectuées.

Ainsi sur l'épure que l'on pourrait tracer, l'ordonnée de la parabole et celle de la seconde courbe donneraient les valeurs du rayon de la trajectoire et l'angle du gouvernail pour une position déterminée du point M. On voit en outre, ce qui était évident *à priori*, qu'il y a toujours, sauf dans le cas du rayon minimum, deux valeurs de l'angle β pour une même valeur du rayon.

§ 3. — RAYON MINIMUM DANS LES CANAUX ET EXCÉDENT DE LARGEUR A DONNER AU PLAFOND POUR CHAQUE VALEUR DU RAYON.

En dehors de toute autre considération, on peut reconnaître que le rayon minimum ci-dessus déterminé ne pourrait s'appliquer aux bateaux dans un canal.

Les équations (A′) montrent, en effet, que, toutes choses égales d'ailleurs, le rayon minimum de la trajectoire s'élève à mesure que le coefficient K augmente, car le terme dû à la résistance transversale du bateau est celui qui combat l'action inverse de la force centrifuge et du gouvernail. Si K pouvait être réduit à de très faibles proportions, le bateau tendrait constamment à se mettre d'équerre avec sa position primitive pour une très faible valeur de β, et inversement, s'il devient plus considérable, ce qui a lieu nécessairement dans un canal à petite section relative, l'influence du gouvernail est moins accentuée.

Dans l'impossibilité où nous sommes d'appliquer un coefficient même approché tenant compte de cette circonstance, nous continuerons à raisonner sur le résultat du paragraphe précédent, sauf à invoquer en temps voulu cette remarque pour fixer définitivement le moindre rayon pratiquement réalisable.

Nous retrouverons d'ailleurs d'autres motifs pour se

tenir très notablement au dessus du chiffre de 600 mètres.

Occupons-nous maintenant de la largeur qu'il convient de donner à un canal en courbe.

Supposons d'abord le canal à une voie. Si l'on ne tient pas compte de l'action du vent (*), on voit sur la figure 7 que la largeur au plafond devra être représentée — non compris le jeu nécessaire — par l'une des quatre expressions suivantes :

OD — OB.
OC′ — OB.
OD — OC.
OC′ — OC.

On peut reconnaître soit par le calcul, soit encore mieux par une épure que les deux premières ne sont applicables en aucun cas.

(*) Il est facile de reconnaître que l'action du vent qui souffle plus ou moins transversalement a pour effet d'accélérer ou de retarder la marche du bateau, suivant les cas, et de lui faire prendre une position oblique par rapport à l'axe du canal, supposé rectiligne (*fig.* 8). En appelant v la vitesse du vent, V celle du bateau, H et h le tirant d'eau et la hauteur émergée, α l'obliquité, et β l'angle du vent avec l'axe du canal, on a :

$$\frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2(\beta - \alpha)} = \frac{K'}{K} \cdot \frac{h}{H} \cdot \frac{v^2}{V^2}.$$

K et K′ sont des coefficients numériques. Soit $\beta = 90°$, ce qui correspond sensiblement au cas le plus défavorable, on a

$$tg\,\alpha = \frac{K'}{K} \cdot \frac{h}{H} \cdot \frac{v^2}{V^2}.$$

Pour un bateau sur lest, on peut admettre $h = H$. Adoptons $K = 70^k$ (Bresse, *Résistance des fluides*), $K' = 0^k,14$ (Claudel, *Aide-mémoire*), et enfin $V = 3^m,00$, ce qui correspond à environ 11 kilomètres à l'heure, chiffre assez élevé pour un canal, nous avons :

$$tg\,\alpha = 0,015 . v.$$

Les largeurs qui en résultent croissent très rapidement ; avec des vents de 10 mètres, elles atteignent déjà $29^m,50$, au lieu de 15 mètres, tambours compris, l'angle correspondant étant d'environ 8°,30′. La largeur occupée par le bateau serait presque doublée. Il ne paraît guère possible qu'un vapeur puisse naviguer avec une obliquité, d'ailleurs variable nécessairement à chaque instant, de plus de 5 à 6°, correspondant à des vents de 6 à 7 mètres de vitesse, et à un accroissement de largeur du tiers en plus, soit environ 20 mètres au total.

Soient ρ''', ρ'', ρ', les longueurs OD, OC' et OC, soit en outre D la largeur du bateau, tambours compris, et remarquons que la partie antérieure des tambours est généralement aux $\frac{8}{10}$ de la demi-longueur, et la partie postérieure aux $\frac{9}{10}$, nous avons :

$$\rho'^2 = \left(\rho - \frac{D}{2}\right)^2 + (d - 0{,}2\,L)^2$$
$$\rho''^2 = \left(\rho + \frac{D}{2}\right)^2 + (d - 0{,}1\,L)^2$$
$$\rho'''^2 = \left(\rho + \frac{b}{2}\right)^2 + (d + L)^2.$$

On en déduit

$$\rho'''^2 - \rho'^2 = \left(2\rho - \frac{D - b}{2}\right)\frac{D + b}{2} + 1{,}2\,L\,(2d + 0{,}8\,L)$$
$$\rho''^2 - \rho'^2 = 2D\rho + 0{,}1\,L\,(2d - 0{,}3\,L).$$

La preimère expression peut s'écrire en remarquant que $\frac{\rho''' + \rho'}{2}$ est le rayon du point milieu de la ligne CD

$$\Delta = L\,\frac{0{,}5\,(\delta + m)\,z + 1{,}2\,x - 0{,}125\,(\delta^2 - m^2 - 3{,}84)}{\sqrt{\{z - 0{,}25(\delta - m)\}^2 + (x + 0{,}4)^2}},$$

En posant $\delta = \frac{D}{L}$ et appelant Δ la largeur cherchée.

La seconde expression se simplifie davantage, car le milieu de CC' est sur l'axe du bateau.

$$\Delta = L\,\frac{\delta z + 0{,}1\,(x - 0{,}15)}{\sqrt{z^2 + (x - 0{,}15)^2}}.$$

Ces formules, mises en chiffres avec les données précédentes et en faisant $D = 15^m{,}00$, deviennent :

$$(1) \qquad \Delta = L\,\frac{0{,}154\,z + 1{,}2\,x + 0{,}475}{\sqrt{(z - 0{,}03)^2 + (x + 0{,}4)^2}}$$

$$(2) \qquad \Delta = L \frac{0{,}214\, z + 0{,}1\, x - 0.015}{\sqrt{z^2 + (x - 0.15)^2}}.$$

Au moyen de ces formules nous avons calculé un tableau que nous avons représenté par une courbe (*fig.* 10).

On peut, sans erreurs notables, transformer ces formules, d'un usage peu commode en d'autres plus simples, ne contenant plus que ρ. On arrive ainsi aux formules :

$$(1') \qquad \Delta = 10{,}8 + \frac{43}{\rho} + \frac{24}{\sqrt{\rho}}$$

$$(2') \qquad \Delta = 15{,}00 + \frac{0{,}9}{\rho} + \frac{2}{\sqrt{\rho}},$$

dans lesquelles ρ est exprimé en centaines. Le passage d'une formule à l'autre a lieu pour $\rho = 4\,600$ mètres. En pratique, on n'aurait donc guère à se servir que des formules (1) ou (1'), à l'exclusion des deux autres.

On voit sur la courbe que la largeur du canal varie très rapidement en sens inverse du rayon, et qu'elle serait presque doublée pour un rayon de 600 mètres. Il y a donc de ce chef un intérêt réel à ne pas adopter un rayon trop faible.

Si le canal devait être à deux voies, il faudrait doubler les résultats ci-dessus. Enfin, nos résultats ne comprennent pas le jeu qu'il est toujours indispensable de réserver.

§ 4. — EFFORT DE TRACTION.

Il nous reste enfin à déterminer les variations de l'effort de traction d'après le rayon de la trajectoire.

Pour cela, il suffira de poser la troisième équation d'équilibre dont nous avons fait abstraction dans tout ce qui précède.

Soit F l'effort de traction; on a, en se reportant au premier paragraphe :

$$F = K_1 bh \frac{V^2}{2g} + K' \lambda h' \frac{V^2}{2g} \left(\sin \beta - \frac{L+d}{\rho} \cos \beta \right)^2 \sin \beta + \frac{2\mu}{g} L bh \frac{V^2}{\rho} \cdot \frac{d}{\rho}.$$

Le premier terme représente l'effort de traction nécessaire pour mouvoir le bateau en ligne droite avec une vitesse V ; le second est dû à la composante longitudinale du gouvernail, et le dernier à celle de la force centrifuge.

On peut écrire cette formule avec les notations du paragraphe premier.

$$F = K_1 bh \frac{V^2}{2g} \left\{ 1 + \frac{K'}{K_1} \frac{h'}{h} \frac{n}{m} \left(\sin \beta - \frac{1+x}{z} \cos \beta \right)^2 \sin \beta + \frac{4\mu}{K_1} \frac{x}{z^2} \right\}$$

ou bien en tenant compte de la deuxième des équations (A′)

$$F = K_1 bh \frac{V^2}{2g} \left\{ 1 + \frac{4K}{3K_1} \frac{1}{m} \cdot \frac{x}{z^2} tg\, \beta + \frac{4\mu}{K_1} \frac{x}{z^2} \right\},$$

ou enfin :

$$F = K_1 bh \frac{V^2}{2g} \left\{ 1 + \frac{4}{3} \frac{K\, tg\, \beta + 3\mu m}{m K_1} \frac{x}{z^2} \right\}.$$

On voit par cette formule que l'influence retardatrice de la force centrifuge sera supérieure à celle du gouvernail, si l'on a :

$$tg\, \beta < \frac{3\mu m}{K},$$

c'est-à dire, avec les valeurs de μ et de K que nous avons admises pour

$$tg\, \beta < 0,166.$$

soit β inférieur à $9°, 25'$ environ, ce qui correspond à un rayon de 4250 à 4300 mètres au moins.

Soit F′, l'effort de traction nécessaire pour mouvoir le même bateau avec la même vitesse V en ligne droite, on a :

$$F = K_1 bh \frac{V^2}{2g}.$$

Le rapport $\frac{F}{F'}$ sera donc :

$$\frac{F}{F'} = 1 + \frac{4}{3} \frac{K \, tg\beta + 3\mu m}{m K_1} \cdot \frac{x}{z^2}.$$

Appliquons cette formule au cas ou Z atteint son minimum. Nous avons :

$$x = 1{,}22 \quad z = 8{,}4, \quad tg\beta = 1{,}865, \quad \mu = 0{,}80, \quad m = \frac{1}{11}, \quad K = 1{,}2.$$

Il règne une assez grande incertitude sur la valeur du coefficient K_1. D'après le général Morin, K_1 serait compris entre 0,10 et 0,16 pour des bateaux rapides très allongés, en pleine eau, et entre 0,20 et 0,30 pour les mêmes bateaux dans les canaux étroits. Faute de mieux, nous admettrons 0,125 ou $\frac{1}{8}$ pour le premier cas et 0,25 ou $\frac{1}{4}$ pour le second, on trouve alors :

$$\frac{F}{F'} = 5{,}98 \text{ en pleine eau,}$$

$$\frac{F}{F'} = 3{,}49 \text{ dans un canal étroit.}$$

On voit par ces chiffres ou directement sur la formule que l'accroissement proportionnel de l'effort de traction est moindre dans les canaux qu'en pleine eau. On pouvait d'ailleurs le prévoir, si l'on remarque que dans le mouvement curviligne, on ajoute à la section du maître couple, pour laquelle le coefficient de résistance est très petit, une certaine section des parois longitudinales du bateau, pour lesquelles le coefficient est supérieur, et l'influence relative devra être d'autant plus forte que le rapport $\frac{K}{K_1}$ sera plus grand.

Remarquons enfin que si l'on voulait maintenir la même

force motrice à la machine que dans la marche rectiligne, il suffirait de réduire les vitesses dans les rapports inverses des racines carrées des efforts F et F′ calculés, soit

$$\left\{\begin{array}{l} \frac{1}{2,45} \text{ en pleine eau,} \\ \frac{1}{1,87} \text{ dans un canal étroit.} \end{array}\right.$$

Pratiquement, les vapeurs adoptent un moyen terme : ils augmentent légèrement l'effort développé par leurs machines et réduisent en même temps leur vitesse.

Il ressort de ces résultats que le rayon minimum de 600 mètres, que nous avons calculé dans le paragraphe 1er, ne doit être adopté que dans le cas où la disposition des lieux l'imposerait.

Nous avons calculé le rapport $\frac{F}{F'}$ pour un certain nombre de valeurs du rayon, et nous avons représenté le résultat par une courbe dont les ordonnées donnent la quantité qu'il faut ajouter à l'unité pour avoir ce rapport (*) (*fig.* 10).

Pour les applications, il peut être avantageux de transformer la formule théorique, d'un usage très laborieux, en une formule empirique ne contenant que le rayon ρ. On peut vérifier que les courbes représentées par les équations

$$\frac{F}{F'} = 1 + \frac{900}{\rho^3} \text{ pleine eau,}$$

$$\frac{F}{F'} = 1 + \frac{450}{\rho^3} \text{ dans un canal.}$$

diffèrent très peu de celles que nous avons tracées (**). On voit que $\frac{F}{F'}$ décroît très rapidement, à mesure que ρ augmente.

(*) Il faut considérer sur cette courbe l'échelle des hauteurs double, pour le cas d'un canal étroit, de ce qu'elle est pour le cas d'un bateau en pleine eau.

(**) Les rayons étant exprimés en centaines de mètres.

Enfin, il y a lieu d'observer que dans la comparaison *précédente*, nous avons assimilé la vitesse du bateau dans *son mouvement rectiligne* avec la vitesse du point de contact M de la courbe-enveloppe dans le mouvement curviligne.

Cette assimilation peut donner prise à quelque objection, car il y a lieu de savoir si ce qu'on entend par vitesse d'un bateau en courbe est bien comparable à la vitesse du point M.

Pour cela, il importe de s'entendre sur la définition de cette vitesse. Ici, chaque point du bateau a une vitesse différente de celle du point voisin.

On peut cependant, pour fixer les idées, l'admettre comme égale au chemin parcouru par le centre de gravité du bateau dans l'unité de temps. Bien d'autres définitions seraient possibles, notamment sur les canaux où l'on mesure d'ordinaire les longueurs suivant leur axe : il faudrait alors considérer la vitesse du point du bateau qui décrit précisément cet axe comme trajectoire.

Tenons-nous-en à la première définition, qui a pour avantage de correspondre à un point fixe et nettement défini du bateau. Si nous conservons la notation V pour représenter, non plus la vitesse du point M, mais celle du centre de gravité, nous devrons dans l'expression de F remplacer V^2 par la quantité

$$\frac{V^2}{1 + \frac{x^2}{z^2}}$$

et il vient

$$F = K_1 M \frac{V^2}{2} \left[1 - \frac{4}{3} \frac{K_2 (3 - 2\alpha m)}{m K_1} \cdot \frac{x}{z^2} \right] \frac{z^2}{x^2 + z^2},$$

d'où

$$\frac{F}{F'} = \left[1 + \frac{4}{3}\,\frac{K\,tg\,\beta + 3\mu\,m}{m\,K_1}\,\frac{x}{z^2}\right]\frac{z^2}{x^2 + z^2},$$

ou plus simplement :

$$\frac{F}{F'} = 1 + \left\{\frac{4}{3}\,\frac{K\,tg\,\beta + 3\mu\,m}{m\,K_1} - x\right\}\frac{x}{x^2 + z^2}.$$

Dans le cas du minimum de z, cette formule donne des valeurs très peu différentes de celles que nous avons trouvées par la première.

$$\begin{cases} 5{,}86 \text{ en pleine eau,} \\ 3.41 \text{ dans un canal étroit.} \end{cases}$$

Cette expression offre toutefois une particularité remarquable. Le terme entre parenthèses peut devenir négatif, et par suite $\frac{F}{F'}$ se trouve inférieur à l'unité. Cela a lieu pour toutes les valeurs de x supérieures à

$$x = \frac{4}{3}\,\frac{K\,tg\,\beta + 3\,\mu m}{m\,K_1}.$$

Pour $x = +\infty$, ce terme soustractif s'annule, et le rapport redevient égal à l'unité, car $\frac{x}{x^2+z^2}$ et $\frac{x^2}{x^2+z^2}$ s'annulent.

On vérifie d'ailleurs sans peine qu'il y a une valeur de x satisfaisant à cette relation, car le terme $\frac{3\mu m}{mK_1}$ est constant, et le terme $\frac{Ktg\beta}{mK_1}$ va sans cesse en diminuant à mesure que x augmente.

On aura une valeur supérieure de x en supposant $tg\beta$ égale à 0, ce qui donne :

en pleine eau $\begin{cases} x = 25{,}6 \\ z = 5270 \end{cases}$ d'où $\rho = 369$ kilomètres

dans un canal $\begin{cases} x = 12{,}8 \\ z = 1284 \end{cases}$ d'où $\rho = 90$ kilomètres.

Ces chiffres ne correspondent donc pas à un cas pratique.

§ 5. — CANAUX A SECTION ORDINAIRE.

Sans vouloir entrer dans autant de détails que précédemment sur les canaux ordinaires, nous indiquerons brièvement quelques résultats généraux qui ne laissent pas que de présenter un certain intérêt.

Sur les canaux du Nord, le type des vapeurs porteurs, circulant entre la Belgique et Paris est assez variable. Toutefois, les renseignements qu'a bien voulu nous communiquer à ce sujet M. l'Inspecteur général Guillemain permettent de considérer comme représentant le type le plus courant les porteurs de la Meuse, dont les dimensions sont les suivantes :

$$2L = 34^m,50 \quad b = 5^m.00 \quad h = 2,10 \quad h' = 1,2 \quad \lambda = 2 \quad \mu = 0,6.$$

Nous supposerons, comme nous l'avons déjà fait $K = K' = 1,20$.

Les formules (A′), qui seules sont encore applicables, deviennent.

$$z = 1,15\,(3\,x^2 - 2\,x + 1)$$

$$z^2 = 20\,x \frac{1}{\left(\sin\beta - \frac{1+x}{z}\cos\beta\right)^2 \cos\beta}$$

Le minimum de z a lieu pour :

$$x = 2,38, \quad \text{soit :} \quad d = 41^m$$
$$z = 13,2 \qquad \rho_m = 228^m$$
$$tg\,\beta = 1,8423 \qquad \beta = 61°35'.$$

Le rayon minimum de la courbe-enveloppe du bateau est donc 230 mètres environ, chiffre trois fois plus élevé que celui indiqué dans la note de février 1881 des *Annales*, pour les barques halées dans un canal.

Les bateaux considérés étant à hélice, la détermination de l'élargissement nécessaire dans les courbes se fait par des considérations analogues à celles que nous avons déjà exposées.

On trouve ainsi, pour la largeur totale Δ occupée par un bateau naviguant en courbe.

$$\Delta = \mathrm{L}\frac{mz + 2x}{\sqrt{x^2 + z^2}},$$

Cette formule peut se transformer très-simplement en négligeant x^2 au dénominateur, ce qui correspond à une erreur relative en trop sur Δ inférieure à $\frac{1}{60}$.

$$\Delta = \mathrm{L}\left(m + \frac{2x}{z}\right),$$

soit en chiffres :

$$\Delta = 5 + 34,5\frac{x}{z}.$$

et dans le cas ordinaire d'un canal à double voie, non compris le jeu :

$$\Delta = 10 + 69\frac{x}{z}.$$

Cette formule n'est pas d'accord avec la formule indiquée dans la circulaire du 19 juillet 1880 :

$$\Delta = 10 + \frac{380}{\rho}.$$

Il y a concordance si l'on a

$$69\, d = 380,$$

d'où :

$$d = 5^{\mathrm{m}}50.$$

Or d est au minimum égal à 41 mètres. Par suite, notre formule donne des résultats plus élevés que la formule de l'Administration, et conduit à adopter de plus grandes largeurs en courbe.

Enfin, en tenant compte de la première des équations (A') et faisant quelques légères simplifications qui conduisent à des erreurs moindres que $\frac{1}{45}$, on peut écrire :

$$\Delta = 10 + \frac{380}{\rho} + \frac{140}{\sqrt{\rho}}.$$

Les deux premiers termes sont identiques à ceux contenus dans la circulaire du 19 juillet 1880, mais il y a en plus un terme additif en $\frac{1}{\sqrt{\rho}}$ dont l'influence est prépondérante.

Les chiffres donnés par le calcul direct ont été représentée par une courbe (*fig.* 10).

Dans le cas du rayon minimum, la largeur occupée par un bateau seul serait de $10^m,92$, et la largeur donnée au canal par la formule administrative serait de $11^m,70$ environ.

En aucun cas, le croisement ne paraît donc pouvoir se faire dans les canaux actuels de 2 à 400 mètres de rayon. Ce serait un point intéressant à vérifier par des expériences qu'il nous est malheureusement impossible de faire sur les canaux de notre région, où la navigation à vapeur n'existe pas et où les courbes sont toutes à très-grand rayon.

GÉNÉRALISATION DU PROBLÈME.

Le problème, tel que nous nous le sommes proposé, est ainsi complètement résolu, tout au moins au point de vue théorique ; mais il reste dans l'obscurité un côté de la question d'une importance capitale.

Nous n'avons raisonné, en effet, que dans l'hypothèse où le bateau a atteint son mouvement uniforme. Il serait intéressant de rechercher ce qui se passe entre l'instant où le bateau quitte la trajectoire rectiligne et tend à se déplacer suivant une courbe de rayon donné.

On peut admettre que le gouvernail étant manœuvré de façon à produire immédiatement son maximum d'effet, le bateau parcourra une courbe dont le rayon de courbure décroîtra progressivement jusqu'au moment où le rayon sera précisément celui de la courbe que l'on veut décrire.

Les équations du problème se compliquent des forces d'inertie et seraient, d'après la méthode d'Euler :

$$M \frac{d^2 \eta}{dt^2} = X,$$

$$N \frac{d^2 \theta}{dt^2} = Y,$$

$$C \frac{d^2 \varepsilon}{dt^2} = M_0 (X, Y).$$

Dans ces équations M, N et C sont des constantes dépendant des dimensions du bateau, η et θ les coordonnées du centre de gravité à l'instant t, ε l'angle dont l'axe du bateau a tourné au bout du même temps, X et Y sont les composantes longitudinales et transversales de tous les efforts qui agissent au même instant sur le bateau, dans lesquelles V, x et Z doivent être considérées comme des variables, si l'on suppose que la force motrice reste constante.

L'intégration de ces équations différentielles, auxquelles il faudrait ajouter d'autres équations faciles à trouver reliant les variables entre elles, résoudrait entièrement la question. Mais cette opération, qui ne paraît pas impossible, du moins d'une façon approximative, est au-dessus de nos forces : nous n'avons voulu que signaler son importance.

Il résulte en effet de cette remarque que le rayon minimum déterminé plus haut n'est applicable qu'à la condition d'avoir un raccordement assez long entre l'alignement droit et la courbe, et d'autant plus long que la courbe sera plus raide. Comme on ne se préoccupe pas en général de ce raccordement, il s'ensuit que dans le cas d'une

courbe raide, ayant par conséquent peu de longueur, le vapeur n'aura pas le temps d'évoluer pour franchir cette étendue de canal avec le rayon voulu. Il y a donc lieu, pour ce nouveau motif, de renoncer au minimum théorique.

OBSERVATIONS GÉNÉRALES ET CONCLUSIONS.

Nous devons faire observer, enfin, que les données numériques établies par nos formules ne doivent être prises que comme des minima notablement dépassés en pratique, principalement sur les canaux.

En dehors de l'incertitude qui règne sur beaucoup de coefficients, même avec les hypothèses restrictives que nous avons faites, nous avons admis que le coefficient de résistance des fluides pour les parois latérales des bateaux était celui d'une plaque mince se mouvant dans un liquide stagnant indéfini. En réalité, les choses ne se passent pas aussi simplement, et l'on comprend très bien que ce coefficient doive augmenter dans d'assez fortes proportions dès que le bateau, par son obliquité, arrive à occuper une partie notable de la ligne d'eau du canal.

A ce fait vient s'en ajouter un autre non moins important, agissant dans le même sens. Nous avons raisonné, en effet, ce qui est le cas général des canaux de navigation, sur une surface d'eau en repos. Mais, si nous supposons que le bateau arrive à occuper toute ou presque toute la largeur du canal, il faudra à chaque instant qu'il se produise un déplacement d'eau de l'avant à l'arrière pour combler le vide qu'il laisse derrière lui. Ce débit constant sera égal à la section occupée transversalement au canal par le bateau multipliée par sa vitesse. Pour une profondeur d'eau de $2^m,20$ et un bateau calant $1^m,40$, on voit que l'eau devrait prendre sous la quille une vitesse en sens inverse de près des deux tiers de celle du bateau, la vitesse

relative augmentant des deux tiers, l'effort de traction correspondant serait augmenté lui-même de moitié.

En récapitulant toutes les observations que nous avons présentées dans ce sens au cours de cette note, on ne doit pas être surpris que nous ayons jugé comme indispensable en pratique de n'adopter sur le canal de grande navigation du Rhône à Cette que des courbes minima d'un rayon au moins double de celui qu'indique la théorie : nous ne sommes pas descendu au dessous de 1 250 mètres.

Nous terminerons ici cette note sur un sujet encore peu connu. Sans prétendre l'avoir entièrement élucidé, nous croyons l'avoir présenté sous son véritable aspect. Notre théorie, basée sur des principes rationnels de mécanique, et dans laquelle M. l'Ingénieur en chef Dellon a bien voulu nous guider de ses conseils, est cependant loin d'embrasser tous les côtés de la question, mais elle suffit déjà, croyons-nous, pour en arrêter les éléments généraux.

Ce serait, d'ailleurs, maintenant plus à l'expérience qu'à la théorie qu'il conviendrait de demander de nouveaux éclaircissements et plus de précision dans un sujet où le choix des coefficients est d'une grande importance comme résultat numérique, et pour lesquels les faits expérimentaux sont encore très-peu nombreux et notablement en discordance.

Montpellier, 20 novembre 1882.

N° 19

PORT DU HAVRE

NOTE

SUR

LA RESTAURATION DU RADIER
DE L'ÉCLUSE NOTRE-DAME

Par M. V. RENOUT, Conducteur principa
faisant fonctions d'Ingénieur des Ponts et Chaussées.

I

DESCRIPTION DE L'ÉCLUSE.

L'écluse Notre-Dame ferme le bassin du Roi vers l'avant-port; elle fut achevée en 1669, en même temps que ce bassin, le premier du Havre, déjà entouré de murs dès l'année 1628.

Cette écluse n'avait primitivement que 13 mètres de largeur, et son radier, construit en charpente suivant les principes de Vauban, était de 1^{m},25 plus élevé qu'aujourd'hui. Sur une plaque de bronze, trouvée jadis dans les fondations du radier, on lisait que cette écluse était une des plus grandes qui eussent été construites jusqu'alors.

En 1776, l'écluse Notre-Dame fut l'objet d'importantes réparations au radier; on reconstruisit les portes et le parement des bajoyers. Ces travaux furent exécutés par les Ingénieurs des Ponts et Chaussées, qui restèrent chargés, à partir de cette époque, des travaux du port du Havre, jusqu'alors sous la direction du service du Génie.

En 1835, le port du Havre ne possédait encore que trois bassins à flot : le bassin intérieur du Commerce communiquant avec les bassins du Roi et de la Barre, et ces derniers avec l'avant-port par des écluses de 13 mètres et 13^{m},70 de largeur.

Cette situation ne répondant plus aux besoins de la navigation, on pensa à remplacer l'écluse Notre-Dame par une écluse de largeur suffisante pour donner passage aux navires des plus grandes dimensions.

Le projet de construction d'une écluse neuve ayant été abandonné, M. Frissard, Ingénieur en chef du port, proposa alors d'élargir de 3 mètres l'ancienne écluse, en coupant le bajoyer de gauche sur 5 mètres de hauteur, de manière qu'en morte-eau, il restât au moins 2 mètres de hauteur d'eau sur la retraite formée par le reculement de la partie supérieure du bajoyer, hauteur jugée nécessaire pour le tirant d'eau d'une roue de bateau à vapeur. Il proposa, en même temps, d'abaisser le radier de 1^{m},25 pour le mettre de niveau avec celui de l'écluse de la Barre et obtenir ainsi 5 mètres de hauteur en morte-eau. (Pl. 12, *fig.* 2.)

Les travaux, qui comprenaient aussi la reconstruction des murs de quai du bassin du Roi, furent exécutés entre deux batardeaux établis l'un dans l'écluse Lamblardie, en amont du bassin du Roi, l'autre dans l'avant-port, en aval de l'écluse Notre-Dame.

Avant de commencer la démolition du radier et de procéder aux reprises en sous-œuvre, on contre-buta solidement les bajoyers pour empêcher leur renversement ; on enleva ensuite l'ancien radier en charpente et l'on creusa le terrain jusqu'à la profondeur déterminée pour les nouvelles fondations ; mais au lieu de pieux battus sur toute la surface de l'écluse, sur lesquels on comptait pour asseoir solidement le radier, on ne trouva que de forts piquets qui servaient à maintenir l'ancienne charpente, et l'on dut se décider à fonder sur le terrain naturel pour ne pas

s'exposer à ébranler les bajoyers en battant des pieux.

Le terrain étant bien dressé, on y répandit une couche de mortier hydraulique de $0^m,05$ d'épaisseur; puis, sur ce mortier, on plaça une plate-forme en hêtre de $0^m,15$ d'épaisseur, en engageant les madriers d'un mètre au moins sous les bajoyers. (Pl. 12, *fig.* 2.)

Sur cette plate-forme on posa une première assise en libages, de $0^m,45$ de hauteur, sur laquelle reposent les pierres supérieures du radier, en calcaire de Ranville, taillées en voussoirs et formant sur la surface du radier des plates-bandes transversales incrustées de deux en deux dans l'assise de libages, afin d'éviter de faire un plan continu que pourraient suivre les filtrations.

Dans son ensemble, le radier présente une voûte renversée, formée par un arc de cercle de 13 mètres de corde et $0^m,90$ de flèche. Sa hauteur, à l'axe de l'écluse, est de $1^m,60$, en y comprenant la plate-forme en hêtre de $0^m,15$ d'épaisseur.

Deux parafouilles en béton, de 2 mètres de largeur sur 2 mètres de hauteur, compris entre deux files de pieux jointifs, furent construits à l'amont et à l'aval de l'écluse.

L'élargissement de l'écluse fut obtenu par le reculement du bajoyer gauche; on reconstruisit entièrement les anciens murs de la chambre des portes, mais, en aval du heurtoir, on ne refit que la partie supérieure du bajoyer sur 5 mètres de hauteur, en conservant la partie inférieure du vieux mur, qui forma ainsi une retraite de 3 mètres de largeur et $1^m,90$ de hauteur au-dessus de la naissance de la courbe du radier, s'étendant sur 31 mètres de longueur. Le nouveau mur ne pouvant être entièrement porté sur l'ancien bajoyer, qui n'était plus assez large par suite du reculement, on comprima le terrain en arrière par de forts piquets, et l'on fonda sur ces piquets.

Malgré ces dispositions, qui devaient assurer une longue durée aux travaux, la décomposition, par le contact de

l'eau de mer, des mortiers de chaux employés dans les maçonneries, détermina, dans un espace de temps relativement court, des désordres assez graves pour compromettre la solidité de l'écluse.

C'est la réparation de ces importants dommages qui fait l'objet de cette note.

II

RESTAURATION DU RADIER.

Exposé. —Pendant ces dernières années des symptômes inquiétants s'étaient manifestés dans les maçonneries du radier de l'écluse Notre-Dame : des suintements, d'abord peu apparents, s'écoulant par les joints des pierres, devinrent successivement plus nombreux, en même temps qu'ils prirent plus d'importance. Des sondages pratiqués dans les maçonneries avaient déjà fait reconnaître que les mortiers étaient complètement décomposés.

Le bassin du Roi n'ayant pu être mis à sec depuis l'annee 1877, par suite du mauvais état des portes de l'écluse Lamblardie, située en amont du bassin du Roi et commandant le bassin du Commerce, on ne put entreprendre aucune réparation sérieuse au radier de l'écluse Notre-Dame, et l'on dut se borner à arrêter les infiltrations à mesure qu'elles se produisaient, soit au moyen d'étoupes refoulées dans les joints des pierres et recouvertes de ciment à prise rapide, soit même avec des coins en bois tendre enfoncés dans les joints. Ces procédés restaient forcément superficiels et ne pouvaient apporter aucune amélioration aux parties inférieures des maçonneries; néanmoins, pendant longtemps, on ne constata aucune déformation dans la surface du radier.

Au mois de mai 1880, la situation changea brusquement; les fuites augmentèrent rapidement d'intensité; de

nombreux jets, ayant jusqu'à 2 mètres de hauteur, se firent jour, à basse mer, sur la plate-forme du radier; puis, l'eau, continuant à se frayer des passages sous les maçonneries, sortit en bouillonnant avec force, par deux ouvertures réservées dans l'axe de l'écluse pour recevoir les étayements des bajoyers pendant la restauration de 1836, et remplis par un restant de bois et par du béton décomposé, qui fut emporté.

Les pierres de l'ancienne plate-forme conservée au pied du bajoyer gauche, déjà ébranlées par de nombreux chocs de navires, se mirent en mouvement dans la partie voisine des portes et ouvrirent de nouveaux débouchés à l'eau qui contournait le poteau tourillon de la porte et les pierres du chardonnet (Pl. 12, *fig.* 2).

Les réparations, faites à la cloche à plongeur, restèrent à peu près sans résultat : les trous bouchés avec du béton de ciment de Vassy, dont la prise était incomplète dans l'intervalle de deux marées, se vidèrent plusieurs fois, malgré le soin pris d'abaisser le niveau du bassin du Roi à la hauteur strictement nécessaire pour ne pas gêner les navires dans leur échouage, ni fatiguer les portes au moment de leur ouverture.

Pendant quelque temps encore l'état du radier sembla rester stationnaire : les écoulements d'eau continuaient sans paraître causer de nouvelle désorganisation, quand, enfin, on constata, avec la cloche à plongeur, que plusieurs pierres du radier, voisines du heurtoir des portes, étaient soulevées de leur lit, et quelques jours après, des jets, d'une grande violence, se déclarèrent près du busc, s'échappant par de larges ouvertures dues à des pierres brisées par la force du courant.

La retraite du bajoyer gauche, qui avait été consolidée avec de forts étriers en fer scellés dans le bajoyer et le radier, surplombait néanmoins de plus en plus; les joints des pierres, remplis à plusieurs reprises, avec des coulis

de ciment, atteignaient jusqu'à $0^m,12$ de largeur, d'où l'eau s'échappait en abondance ; on devait donc craindre que la destruction de cette plate-forme n'entraînât celle du bajoyer.

Ces faits montrèrent que les dommages étaient considérables, et qu'une situation aussi alarmante ne pouvait se prolonger plus longtemps, sans exposer à la fois l'écluse et les portes aux plus graves accidents. A partir du commencement d'octobre 1880, l'écluse cessa de fonctionner.

Nous n'avions pas attendu ce moment pour préparer le projet de restauration de l'écluse. Nos propositions, concertées avec M. l'Ingénieur en chef Bellot, furent approuvées d'urgence le 13 novembre 1880, et les travaux commencèrent à la première vive-eau du mois de décembre.

Les dépenses étaient évaluées à 96 000 francs.

En raison des conditions particulières de ces réparations, des sujétions de marées, des épuisements et des imprévisions, les travaux ont été exécutés en régie, à l'exception de quelques parties de maçonneries pour lesquelles nous avons pu traiter avec un entrepreneur.

Dans l'examen que nous allons faire de ces travaux, nous les diviserons en trois parties :

1° Reconstruction du busc en maçonnerie et remplacement du heurtoir en charpente des portes ;

2° Consolidation de la plate-forme du radier au moyen d'injections de ciment de Portland ;

3° Suppression de la retraite du bajoyer gauche de l'écluse, et reprise en sous-œuvre des maçonneries.

RECONSTRUCTION DU BUSC EN MAÇONNERIE.

Le busc en maçonnerie de pierre calcaire, et la partie du radier contiguë, avaient particulièrement souffert des efforts de sous-pression qu'ils avaient eu à subir depuis que les mortiers étaient décomposés ; un certain nombre de pierres

étaient brisées, d'autres étaient soulevées et, retenues par des éclats de pierres, n'avaient pu reprendre leur place.

Devant un tel désordre, on se décida à reconstruire le busc en n'attaquant, toutefois, que la moitié de la largeur de l'écluse à la fois, afin de laisser l'autre moitié libre pour l'écoulement des eaux, très abondantes, provenant du bassin du Roi et des pertes des vieilles portes de l'écluse Lamblardie.

On établit d'abord une ceinture de batardeaux volants embrassant une partie de la chambre des portes, le haut radier sur 10 mètres de longueur en moyenne et sur un mètre au delà de l'axe longitudinal de l'écluse. Ces batardeaux, construits en planches de sapin et remplis de terre glaise, avaient une hauteur maximum de $0^{m},80$ sur le haut radier, et de $1^{m},20$ dans la chambre des portes, qui permettait de travailler pendant environ 16 marées, à chaque vive-eau, avec une durée variable de 2 à 3 heures.

Les épuisements étaient faits au moyen d'une machine locomobile de 16 chevaux, placée sur le couronnement de l'écluse, actionnant une pompe centrifuge débitant 55 litres par seconde, installée sur le radier et communiquant avec un puisard creusé dans les pierres mêmes du bas radier. Les eaux se déversaient directement dans l'écluse du côté de l'avant-port. Vingt minutes suffisaient pour mettre le radier à sec.

Les préparatifs terminés, on démolit les pierres du busc et celles du radier qui étaient brisées ou de mauvaise qualité.

Les pierres étant enlevées, une première difficulté se présenta; l'eau, qui entourait extérieurement nos batardeaux, se frayant des passages sous les pierres du haut radier, sortait en abondance et rendait impossible tout travail de maçonnerie. Pour nous débarrasser de cette eau, nous fîmes percer à la barre à mine, dans les pierres du haut et du bas radier, une ceinture de trous assez rappro-

chés, traversant l'épaisseur du radier. A la morte-eau suivante, on injecta, par ces trous, des coulis de ciment de Portland, qui formèrent ainsi, sous les pierres, des barrages étanches. Ces premières injections réussirent parfaitement; on interrompit les épuisements pendant la prise du ciment, et l'on put ensuite reprendre le travail sans être nullement gêné par l'eau.

Le busc a été rétabli en maçonnerie de granit de chaque côté du heurtoir en charpente, et, pour prévenir les ébranlements produits par les chocs des portes, quelquefois très violents, les pierres, taillées en voussoirs, ont été reliées entre elles par des goujons en fer placés entre les joints, et rattachées avec le bas radier au moyen de forts scellements en fer galvanisé, de $0^m,04$ d'équarrissage, encastrés dans la face des pierres.

Les parties du radier en arrière du busc ont été reconstruites en maçonnerie de briques avec mortier de ciment de Portland.

Enfin, le heurtoir des portes, en bois de chêne, de $0^m,30$ sur $0^m,40$ d'équarrissage, qui forme l'angle du busc, a été remplacé et scellé dans les pierres du radier avec des boulons en fer galvanisé de $0^m,045$ de diamètre.

INJECTIONS DE CIMENT.

Les jets d'eau, qui s'étaient propagés sur la surface du radier de l'écluse Notre-Dame, s'étendaient jusqu'à 18 mètres en aval des portes; ils indiquaient évidemment que des lames d'eau, en communication directe avec le bassin du Roi, circulaient librement sous les pierres, sans que le mortier décomposé y mit obstacle. La consolidation de la plateforme du radier devait donc consister à remplir de ciment les vides qui existaient entre les pierres, de manière à donner une nouvelle cohésion à la maçonnerie et arrêter en même temps la circulation de l'eau à travers le radier.

Pour atteindre ce but, nous avons employé le procédé des injections de ciment de Portland, déjà appliqué avec succès, en 1855 et 1856, pour la consolidation du radier de l'écluse de la Floride, dans des circonstances analogues à celles qui se sont présentées à l'écluse Notre-Dame.

Comme pour cette écluse, il s'agissait encore de désorganisations produites par la décomposition du mortier. Des forages, pratiqués dans les pierres de la plate-forme du radier de l'écluse de la Floride, avaient fait reconnaître qu'au-dessous de ces pierres, le massif de fondation en béton était décomposé sur une certaine épaisseur, et qu'une nappe d'eau, provenant de la retenue du bassin, circulait entre les pierres et le béton; par des trous percés sur le haut radier, le courant avait même rejeté de gros galets qui ne conservaient pas un atome de mortier.

Le problème à résoudre, pour remédier aux dégradations du radier, consistait donc à trouver le moyen de reconstituer, sous les pierres d'appareil, le béton décomposé; M. Bellot, alors Ingénieur ordinaire, s'arrêta à l'idée d'injecter du mortier sous les pierres, et, après de nombreuses expériences, il mit ce procédé en pratique pour la consolidation du radier.

C'est ainsi qu'à la suite de quelques essais, on remplaça le mortier par du ciment de Portland gâché mou, sans addition de sable, pour éviter le mélange de deux matières de densité différente, qui se seraient séparées avant la prise, et qu'à l'emploi de la pompe, dont on s'était servi dans les expériences, on substitua des tubes en zinc de 4 à 5 mètres de longueur et de $0^m,06$ de diamètre, dans lesquels on introduisait le coulis de ciment au moyen d'un entonnoir.

On reconnut enfin que pour assurer une pénétration complète du ciment dans toutes les parties de la maçonnerie, les trous d'injection devaient être espacés de $0^m,50$.

Ce sont ces mêmes procédés qui nous ont guidé pour la réparation du radier de l'écluse Notre-Dame, en tenant

compte, toutefois, des conditions différentes des maçonneries des deux écluses.

Comme on l'a vu dans la description de l'écluse Notre-Dame, le radier, sur son ancienne largeur de 13 mètres, est construit en pierres de taille partagées en deux assises, l'une formée par les voussoirs de la plate-forme supérieure, l'autre en libages posés sur un plancher en bois simplement établi sur le terrain naturel. L'épaisseur du radier, qui est seulement de $1^m,45$ au milieu de l'écluse, non compris le plancher de $0^m,15$ d'épaisseur, atteint, transversalement, $2^m,35$ à ses extrémités par une courbe de $0^m,90$ de flèche.

Cette conception, qui devait assurer primitivement la solidité du radier, devenait à peu près sans effet du moment que la liaison des pierres n'existait plus : la faible courbure du radier et les dimensions des matériaux ne présentant pas une résistance suffisante à opposer à la pression de la retenue du bassin, il est supposable que, sans le mortier encore en assez bon état qui garnissait la partie supérieure d'un certain nombre de joints, les dégâts qui se sont déclarés ne se seraient pas limités au soulèvement et à la destruction des pierres voisines du busc.

D'après ces explications, on voit que, si pour l'écluse Notre-Dame les vides à remplir avaient partiellement moins d'importance qu'à l'écluse de la Floride, ils étaient, au contraire, plus multipliés, et qu'au lieu de propager les injections de ciment en une couche unique, comme à cette dernière écluse, on devait chercher à les faire communiquer dans la masse entière de la maçonnerie.

Le forage des trous de barres à mine a été dirigé de manière à vaincre aussi complètement que possible cette difficulté.

Les trous furent percés régulièrement sur les grandes lignes de joints des plates-bandes transversales du radier, lesquelles ont de $0^m,60$ à $0^m,70$ de largeur; on espaça les trous sur chaque ligne de $0^m,60$ en les plaçant en quinconce

par rapport aux lignes voisines; on donna aux trous $0^m,08$ de diamètre, et ils furent d'ailleurs percés sur toute la hauteur des pierres, c'est-à-dire jusqu'à ce que la barre à mine rencontrât la plate-forme en bois (Pl. 12, *fig.* 1).

Par ces dispositions on devait obtenir la pénétration des coulis de ciment, non seulement sous le lit des pierres et dans les grandes lignes de joints des plates-bandes en communication directe avec les trous d'injection, mais, en outre, le rapprochement des trous devait faciliter l'introduction du ciment dans les joints transversaux.

Une autre difficulté se présenta encore : tant que l'écluse fut en service, le siphonnement de l'eau par les joints des pierres suffisait pour nettoyer la maçonnerie; mais dès que l'écluse cessa de fonctionner, des dépôts de vase liquide se formèrent promptement dans l'écluse, pénétrant peu à peu dans l'intérieur de la maçonnerie par les pierres brisées, les joints ouverts et les fissures du radier, et remplissant tous les vides; il fallait donc, avant de commencer les injections, chasser cette vase, sous peine de compromettre l'opération et le succès du travail.

Le nettoyage des trous fut ainsi l'objet d'une attention toute particulière; dès qu'une série de trous était terminée, on procédait au nettoyage jusqu'à ce qu'il fût aussi complet que possible. Profitant des conditions favorables où nous nous trouvions par l'étanchéité complète de nos batardeaux, nous avons substitué au nettoyage, par le moyen de l'eau versée en abondance dans les tubes d'injection, suivi jadis, l'emploi, pour cette opération, d'une petite pompe aspirante et foulante qui nous a donné de très bons résultats : on introduisait dans le trou à nettoyer le tuyau de refoulement de la pompe, lequel portait, à une certaine distance de son extrémité, un large collet que l'on maintenait à la main sur le dessus du trou pour contenir l'eau pendant le pompage : les premiers coups de pompe faisaient sortir, par les trous en communication, le sable des anciens

mortiers mélangé avec une vase noire et épaisse qui peu à peu s'éclaircissait, et l'on continuait de pomper jusqu'à ce que l'eau expulsée devînt complètement claire.

Tous les trous avoisinant le busc, dans la chambre des portes et sur le haut radier, sur 12 mètres de longueur, furent percés à sec en dedans des batardeaux, et, pour les trous forés à l'aval, on profita des plus basses marées de vives-eaux, de sorte que les nettoyages furent partout facilités.

Un exemple fera mieux comprendre l'importance du nettoyage dans les injections sous-marines : au début des réparations, nous nous étions encore servi des tubes en zinc pour le nettoyage des maçonneries; puis, les injections furent faites après ces premiers lavages. Voulant en dernier lieu vérifier le résultat obtenu sur ce point, nous fîmes percer au milieu des pierres, entre les deux lignes de trous déjà injectés, une nouvelle série de trous d'épreuve ; ayant ensuite fait fonctionner la pompe, on fit sortir, par ces trous, qui se correspondaient entre eux, une certaine quantité de vase refoulée sans doute par le ciment, et qui avait empêché l'injection de se répandre sur toute la surface correspondante.

Les sondages à la barre à mine qui furent faits sur le bas radier dans la chambre des portes, l'état général de la plate-forme en pierres, qui ne présentait que très peu de déformations, et la faible quantité de ciment absorbée par les injections sur cette partie de l'écluse, nous décidèrent à ne percer que deux lignes de trous d'injection en amont et parallèlement au busc.

Sur le haut radier, au contraire, les forages s'étendirent jusqu'à une distance de $20^{m},65$ en aval du sommet du busc, c'est-à-dire à $2^{m},65$ au delà de la surface où les écoulements d'eau les plus éloignés avaient été remarqués.

On perça ainsi 60 trous dans le bas radier, et 542 trous en aval des portes.

Dès qu'un trou était terminé, on scellait à la partie supérieure, avec du ciment à prise rapide, un petit tube en zinc de $0^m,30$ de longueur et de même diamètre que le tube injecteur, dépassant la surface du radier de $0^m,08$ à $0^m,10$; on bouchait ensuite ce tube avec un tampon en bois de sapin tourné, fermant hermétiquement l'orifice pour empêcher l'introduction de la vase.

Pour donner une plus grande force de pénétration aux injections et atteindre plus complètement notre but, nous nous sommes servi de tubes en zinc de $0^m,08$ de diamètre et de 4 mètres de longueur, surmontés d'un entonnoir de $0^m,27$ de hauteur et de $0^m,30$ d'ouverture en tête. On a vu que, pour l'écluse de la Floride, on avait employé des tubes de $0^m,06$ de diamètre; les conditions particulières où nous nous trouvions, en raison de la circulation plus compliquée à donner aux coulis de ciment, justifiaient l'augmentation de la grosseur des tubes.

Nous pensons d'ailleurs qu'en employant des tubes d'un trop faible diamètre, on s'exposerait à ce que le coulis de ciment, qui se sépare assez promptement de son eau quand il est déposé, acquît une dureté suffisante à la partie inférieure du trou, qui arrêterait sa pénétration et l'empêcherait de se souder avec les parties précédemment injectées. Certains ciments de Portland, surtout, dont la prise est quelquefois trop rapide, doivent faire craindre le grave inconvénient de l'obstruction des tubes et des trous d'injection.

Les injections furent faites de la manière suivante : des échafaudages mobiles, posés sur tréteaux, pour le service des ouvriers étaient préalablement installés dans l'écluse.

Le ciment était gâché dans des augets sur les échafaudages mêmes, et employé immédiatement aux injections.

Dès que l'opération commençait, un ouvrier, revêtu d'un vêtement imperméable, descendait sur le radier, et débouchait le petit tube en zinc scellé dans les pierres à l'orifice

du trou, et y emmanchait le tube d'injection; puis, on lavait de nouveau la maçonnerie en introduisant par l'entonnoir de l'eau à plusieurs reprises; on versait ensuite le ciment jusqu'à ce que le tube fût rempli, en l'agitant au moyen d'une longue tige de fer, en même temps qu'on frappait doucement le tube pour faire descendre le ciment; on laissait enfin le tassement se produire pendant que l'on continuait les injections dans les tubes voisins. Quand on jugeait l'opération terminée, on retirait le tube et on le lavait immédiatement avec soin. Les injections se faisaient simultanément par séries de six trous à la fois, ce qui permettait de les continuer sans pertes de temps pour les ouvriers. A la vive-eau suivante, on coupait les petits tubes en zinc au niveau du radier.

On commença les injections par les lignes de trous percés dans la chambre des portes, puis, on les continua sur le haut radier en se dirigeant de l'amont vers l'aval et du milieu de l'écluse en remontant vers les bajoyers.

Etant donnés l'état général de perméabilité des maçonneries du radier et le rapide courant qui passait par l'écluse, les coulis de ciment, principalement pour les premières lignes injectées à l'amont, auraient été sinon emportés, du moins fortement troublés, si nous avions fait les injections pendant que le radier était à sec avec une sous-pression latérale de $2^{m},35$ de hauteur à partir du dessous des maçonneries; nous avons évité ce danger en n'opérant qu'aux basses mers de morte-eau; nous avions alors une hauteur d'eau moyenne de $0^{m},90$ sur le radier; le courant était très faible, sans action sous les pierres, et la sous-pression complètement nulle.

La quantité de ciment absorbée par les injections a été beaucoup plus considérable dans le voisinage du busc que partout ailleurs, ce qui s'explique bien par les désorganisations plus complètes qui existaient près de la butée des portes; quelques trous ont absorbé jusqu'à 410 kilogrammes

de ciment. D'autres, 260 kilogrammes, et un plus grand nombre, de 100 à 150 kilogrammes. La moyenne générale du ciment employé a été de $60^{k},23$ par trou, sur toute la surface du radier.

Le coulis était composé d'un volume d'eau de mer pour un volume quatre dixièmes de ciment de Portland, correspondant à un litre d'eau pour $1^{k},92$ de ciment admis à la densité moyenne de 1375 kilogrammes.

D'après les résultats obtenus par les expériences, il est entré 1426 kilogrammes de ciment dans la composition d'un mètre cube de mortier considéré après cinq jours d'immersion, c'est-à-dire à l'état solide.

Le poids total du ciment employé pour les injections du radier étant de 36 260 kilogrammes, le volume du coulis solidifié représente donc un cube de $25^{m},43$. Les pertes occasionnées par le ciment resté dans les tubes, après chaque injection, et les répandages sur le radier, ont été peu importantes ; en les admettant cependant pour un dixième, il reste pour le volume du mortier employé utilement, un cube de $22^{m},89$.

La surface injectée étant de $272^{m2},30$, on en déduit que la quantité de ciment introduite dans le radier, tant sous le lit des pierres que dans les joints verticaux, ressort ainsi à $119^{k},8$ par mètre carré, et, en volume, solidifié à $0^{m},084$.

Ce résultat permet de supposer que la maçonnerie a été entièrement reconstituée, même en tenant compte des vides existant entre les libages, et du ciment qui a pu s'introduire à travers les joints du plancher de fondation. En vidant les joints des pierres supérieures du radier pour en faire le rejointoiement, nous avons rencontré le ciment qui avait reflué dans ces joints par les injections.

L'expérience suivante nous a d'ailleurs confirmé l'efficacité des injections qui venaient d'être terminées : les portes du bassin ayant été fermées à la pleine mer d'une marée de vive-eau, nous avons fait déboucher, à la basse mer

suivante, un certain nombre de trous percés à $11^m,50$ en aval du busc, réservés pour cette épreuve, et pu ainsi constater que le niveau de l'eau restait invariable dans ces trous; que, conséquemment, ils étaient sans communication avec la retenue du bassin.

Nous terminerons enfin par le détail de la dépense qui se rapporte aux injections du radier, établie d'après les attachements pris en cours d'exécution:

	fr. c.
Percement à la barre à mine de 602 trous d'injection, de $0^m,08$ de diamètre et de $1^m,70$ de longueur moyenne, soit $1023^m.40$ linéaires à 10 francs le mètre.	10 234,00
Lavage des trous au moyen d'une pompe aspirante et foulante à 2 francs l'un.	1 204,00
36 260 kilogrammes de ciment de Portland à 76 francs les 1000 kilogrammes. . .	2 755,76
Gâchage et injection du ciment à 62 francs les 1000 kilogrammes.	2 248,12
24 tubes d'injection en zinc de $0^m,08$ de diamètre et 4 mètres de longueur, y compris l'entonnoir, à 15 francs l'un.	360,00
602 petits tubes en zinc de $0^m,08$ de diamètre et $0^m,30$ de longueur, à $1^f,60$ l'un, y compris le scellement en ciment sur les trous.	963,20
602 bondes en bois de sapin à $0^f,50$ l'une.	301,00
Fourniture et réparation de barres à mine.	800,00
Façon et établissement de batardeaux dans l'écluse.	7 678,00
Épuisements..	5 094,00
Installation d'échafaudages pour les injections, location d'une pompe, éclairage et autres dépenses.	1 500,00
Total.	$33\,138^f,08$

La surface du radier, consolidée par les in-

jections de ciment de Portland étant de $272^m,30$, le prix du mètre carré ressort ainsi à. . . . . $121^f,70$

SUPPRESSION DE LA RETRAITE DE L'ÉCLUSE ET MAÇONNERIES EN SOUS-ŒUVRE.

Les travaux de restauration de l'écluse Notre-Dame ont été complétés par la démolition de la retraite ou plate-forme de 3 mètres de largeur conservée au pied du bajoyer gauche, lors de l'élargissement de l'écluse, et par la reprise en sous-œuvre des maçonneries du bajoyer.

Cette plate-forme était devenue très gênante pour le passage dans l'écluse, à mesure que les dimensions des navires avaient augmenté ; c'était une cause permanente d'avaries pour les bateaux à vapeur à roues, et les ailes des hélices s'y brisaient quelquefois; sa suppression était donc vivement désirée.

Les pierres qui formaient le parement de cette maçonnerie, sans cohésion entre elles par suite de la décomposition du mortier, disloquées et même brisées, comme nous l'avons dit, par les abordages de navires, ne présentaient aucune solidité sur toute l'étendue de la plate-forme; mais c'est surtout dans la partie voisine des portes que le massif avait plus directement subi les effets de la poussée de l'eau, et, sur près de 15 mètres de longueur, il surplombait déjà de $0^m,30$ vers l'écluse sur sa hauteur de $1^m,90$ (Pl. 12, *fig.* 2).

Dans des conditions aussi instables, la protection du bajoyer, qui sans doute avait motivé la conservation de ce massif de maçonnerie, n'existait plus en réalité.

Ces considérations nous avaient conduit à proposer de supprimer complètement la plate-forme et de la remplacer par une courbe de raccordement, prolongeant exactement la surface curviligne du radier en pierre de taille jusqu'au

pied même du bajoyer, en évitant ainsi tous les inconvénients d'un obstacle aussi nuisible pour la navigation (Pl. 12, *fig.* 3).

D'après les sondages que nous avions fait faire au bajoyer droit de l'écluse, qui a conservé ses dimensions primitives, pour établir, par comparaison, quelle serait encore l'épaisseur du mur engagée sous le massif supérieur après l'enlèvement de la retraite du bajoyer gauche, nous avions trouvé que cette épaisseur devait être de $2^m,75$ au moins.

La nouvelle maçonnerie à reprendre en sous-œuvre, pouvant être descendue jusqu'aux anciennes fondations en charpente du bajoyer, de manière à former, en avant du mur, un large empatement de 3 mètres, égal à la largeur de la retraite supprimée, nous parut présenter une solidité suffisante pour contre-buter le bajoyer, et remplacer efficacement l'ancienne plate-forme, qui, depuis longtemps, n'agissait plus que par le poids des matériaux pour s'opposer au renversement ou au glissement du bajoyer.

Les démolitions et les reprises en sous-œuvre ont été exécutées par tranches de 2 à 3 mètres de longueur à la fois ; on étayait solidement le bajoyer en s'appuyant sur les traverses de l'ancienne fondation, et on pénétrait dans le vieux mur de $0^m,75$ à 1 mètre, en se guidant surtout d'après l'état de la maçonnerie que l'on rencontrait.

La maçonnerie de raccordement avec l'ancien mur a été exécutée avec des moellons siliceux, maintenus en avant par une maçonnerie de briques rouges grésées s'avançant en redans jusqu'à la base et disposée de manière à réserver l'épaisseur du parement du radier.

Ce travail préparatoire étant achevé, toute crainte de mouvement pour le bajoyer avait disparu en même temps ; nous n'avions d'ailleurs constaté aucun tassement pendant les reprises en sous-œuvre.

Le parement de la courbe de raccordement du radier,

qui terminait le travail, a été exécuté avec quatre rouleaux de briques, sur $0^{m},45$ d'épaisseur.

On a employé pour toutes ces maçonneries du mortier de sable et ciment de Portland, au dosage forcé de 700 kilogrammes par mètre cube de sable, pour tenir compte des délavages du ciment causés par les écoulements d'eau provenant de l'intérieur des bajoyers pendant l'exécution du travail.

CONCLUSION.

La restauration du radier de l'écluse Notre-Dame, commencée au mois de décembre 1880, s'était continuée sans interruption à toutes les marées où l'abaissement de la mer permettait de travailler soit à la reconstruction du busc ou aux injections, soit à la reprise en sous-œuvre du bajoyer gauche. Les travaux étaient terminés dans le courant du mois de septembre suivant ; et, un mois après, quand nous avons reconnu que les mortiers avaient acquis une dureté suffisante pour n'avoir plus à craindre aucune détérioration causée par la sous-pression de l'eau, nous avons fait fermer les portes du bassin du Roi, d'abord en morte-eau, puis avec une retenue de $6^{m},50$ au-dessus du radier ; sous cette charge exceptionnelle, aucun suintement n'a été observé sur la surface du radier.

Cette épreuve ayant été continuée pendant toute la durée de la vive-eau, avec le même résultat, l'écluse Notre-Dame a été définitivement remise en service, après une interruption de près d'une année.

Depuis ce moment, huit mois se sont écoulés ; et toutes les vérifications, qui ont été faites sur le radier, aux basses mers de vives-eaux, n'ont fait découvrir aucun écoulement d'eau par les joints des pierres, de même que sur la courbe de raccordement en maçonnerie de briques et ciment de Portland qui remplace l'ancienne retraite.

Ces résultats permettent de conclure que le procédé des injections de ciment, appliqué au port du Havre, en deux circonstances différentes, peut, dans certains cas, être employé utilement pour la réparation des maçonneries sous-marines.

Le Havre, 22 mai 1882.

CHRONIQUE

(Avril 1883.)

N° 20

NOTE

SUR LE PARTAGE DES DÉPENS ENTRE LES PROPRIÉTAIRES ET L'ADMINISTRATION EN CAS D'EXPROPRIATION POUR CAUSE D'UTILITÉ PUBLIQUE.

Par M. COHEN, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Le troisième paragraphe de l'article 40 de la loi du 3 mai 1841, sur l'expropriation pour cause d'utilité publique, stipule que :

« Si l'indemnité est à la fois supérieure à l'offre de l'Ad-« ministration et inférieure à la demande des parties, les « dépens seront compensés de manière à être supportés « par les parties et l'Administration, *dans les proportions* « de leur offre ou de leur demande avec la décision du « jury. »

En appelant I l'indemnité fixée par le jury, O l'offre de l'Administration, D la demande de la partie expropriée, F la totalité des frais ou dépens taxés par le magistrat directeur, conformément aux deux derniers paragraphes de l'article 41, le mode de calcul assez compliqué, proposé par M. l'avocat général à la Cour de cassation Tarbé, et qui été reproduit dans le *Cours de droit administratif* de M. Cotelle (tome II, page 369), revient à partager F en deux parties f et f' proportionnelles aux nombres fractionnaires

$\frac{D}{I}$ et $\frac{I}{O}$. Il donne donc pour les frais à la charge de l'exproprié :

$$f = F \times \frac{\frac{D}{I}}{\frac{D}{I} + \frac{I}{O}} = F \times \frac{DO}{DO + I^2}, \qquad (1)$$

et pour ceux à la charge de l'Administration :

$$f' = F \times \frac{\frac{I}{O}}{\frac{D}{I} + \frac{I}{O}} = F \times \frac{I^2}{DO + I^2} \qquad (2)$$

M. Delalleau, substituant la proportion arithmétique ou par différence, à celle par quotient, a donné dans son *Traité de l'expropriation* les formules beaucoup plus simples et plus commodes :

$$f = F\left(\frac{D - I}{D - O}\right) \qquad (3)$$

$$\text{et} \quad f' = F\left(\frac{I - O}{D - O}\right) \qquad (4)$$

Nous avons vu, dans les différents services auxquels nous avons été attaché, les magistrats directeurs appliquer tantôt l'un, tantôt l'autre de ces deux systèmes, qui conduisent cependant à des résultats bien différents.

Supposons par exemple :

$$O = 1\,000^f \quad D = 6\,000^f \quad \text{et} \quad I = 3\,000^f$$

les formules (1) et (2) donneront

$$f = \frac{2}{5}F \quad \text{et} \quad f' = \frac{3}{5}F,$$

et celles (3) et (4) les résultats précisément inverses

$$f = \frac{3}{5}F \quad \text{et} \quad f' = \frac{2}{5}F.$$

Si l'on prenait

$$O = 1000^f \quad D = 4000^f \quad \text{et} \quad I = 2000^f$$

les formules (1) et (2) donneraient

$$f = \frac{1}{2}F \quad \text{et} \quad f' = \frac{1}{2}F$$

et feraient partager les frais par parties égales entre l'exproprié et l'Administration, tandis qu'en appliquant les formules (3) et (4) l'exproprié payerait les $\frac{2}{3}$ des frais et l'Administration $\frac{1}{3}$ seulement.

Il convient donc de rechercher quel est celui des deux groupes (1) et (2) ou (3) et (4) qui répond le mieux à la loi. Cette recherche sera bientôt faite si l'on veut examiner successivement les deux hypothèses suivantes :

1° Indemnité égale à l'offre, soit $I = O$,

2° Indemnité égale à la demande, soit $I = D$.

Les formules (1) et (2) donnent dans le premier cas :

$$f = F \times \frac{D}{D+O} \qquad f' = F \times \frac{O}{D+O},$$

et dans le deuxième

$$f = F \times \frac{O}{D+O} \qquad f' = F \times \frac{D}{D+O}.$$

L'Administration aurait ainsi à supporter une fraction $\frac{O}{D+O}$ des frais lorsque l'indemnité serait égale à son offre, et elle ne payerait qu'une fraction seulement $\frac{D}{D+O}$ des frais si l'indemnité était égale à la demande des parties. Ces résultats sont en désaccord formel avec les deux premiers paragraphes de l'article 40, ainsi conçus :

« Si l'indemnité réglée par le jury ne dépasse pas l'offre « de l'Administration, les parties qui l'auront refusée se- « ront condamnées aux dépens.

« Si l'indemnité est égale à la demande des parties, « l'Administration sera condamnée aux frais. »

Cette double prescription est au contraire remplie par les formules (3) et (4), qui donnent :

$$\text{pour} \quad I = O \qquad f = F$$
$$\text{et pour} \quad I = D \qquad f' = F.$$

Rien ne s'oppose d'ailleurs à ce qu'on prenne, dans le cas du troisième paragraphe du même article, les proportions *par différence*, puisque le texte de la loi est muet à cet égard, et qu'il existe en arithmétique des proportions par différence aussi bien que par quotient. Les premières satisfont même mieux l'esprit. Il semble naturel, en effet, que dans le cas où, pour nous servir d'une expression vulgaire, le jury coupe la poire par le milieu, ce qui correspond à $I = \frac{O + D}{2}$, les frais soient partagés par moitié entre l'exproprié et l'Administration. Or le groupe (3) et (4) est le seul qui donne dans ce cas

$$f = f' = \frac{1}{2}F.$$

Concluons donc que les formules très simples

$$f = F\left(\frac{D - I}{D - O}\right) \qquad \text{et} \quad f' = F\left(\frac{I - O}{D - O}\right)$$

satisfont aux trois paragraphes de l'article 40 de la loi du 3 mai 1841, et que leur emploi exclusif doit être conseillé à messieurs les magistrats directeurs des jurys d'expropriation, dans le cas général où l'indemnité est comprise entre l'offre et la demande.

Cahors, 12 mars 1883.

N° 21

NOTE

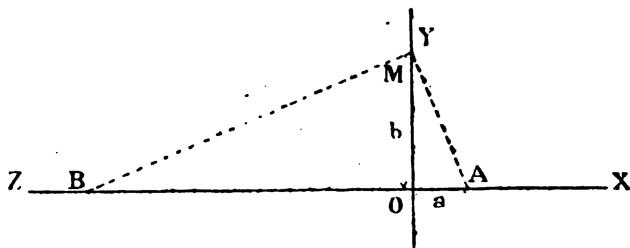
SUR L'ÉVALUATION DES SURFACES DE DÉBLAI ET DE REMBLAI

Par M. LÉON DURAND-CLAYE, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées
(D'après les indications de M. d'OCAGNE, élève-ingénieur).

Dans le 1er semestre des *Annales* de 1881 (p. 98) M. Siégler a fait connaître un procédé très simple pour déterminer les surfaces des profils en travers dans les projets de terrassements. On sait qu'une telle surface s'exprime par la formule

$$Z + k = \frac{(y + lp)^2}{2(p \pm x)},$$

où y est la cote rouge sur l'axe, l la demi-largeur de la plate-forme, p la pente du talus, x la déclivité du terrain, et k une constante. En posant $z + k = z'$, $y + lp = y'$, $2(p \pm x) = x'$, on obtient $z' = \frac{y'^2}{x'}$. M. Siégler dresse une épure composée de deux axes rec-



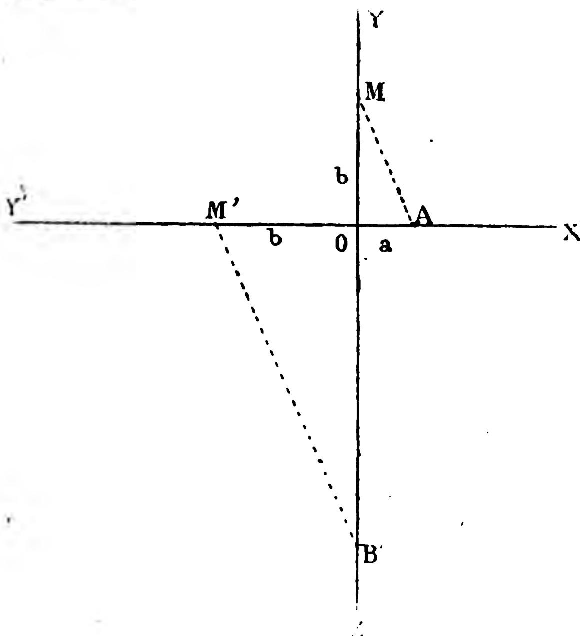
tangulaires OX et OY. Sur chacun d'eux il trace des divisions espacées suivant les valeurs que prennent x' et y' pour des valeurs successives de x et y inscrites à côtés des traits.

Sur le prolongement OZ de l'axe OX, il dessine une échelle ana-

logue des valeurs de z. Pour avoir la surface qui correspond à deux données $x=a$ et $y=b$, il place le sommet d'une équerre sur le point M de l'axe OY où est marquée la valeur b, et il fait passer l'un des côtés de cette équerre par le point A, où est marquée la valeur a. Le second côté de l'équerre marque au point B, où il rencontre l'axe OZ, une valeur $OB=\frac{b^2}{a}$, qui est précisément la valeur cherchée de z.

Cette méthode ne donne quelque précision que si le sommet de l'équerre est bien exactement au point voulu M. Cette condition ne peut guère se réaliser que si l'on a recours à un instrument spécial, comme celui que M. Siégler a imaginé et décrit. Cette circonstance est sans doute la cause principale qui a empêché ce procédé de se répandre.

M. d'Ocagne, élève ingénieur de 3e classe à l'École des Ponts et Chaussées, a eu l'idée de substituer le tracé d'une parallèle à celui d'une perpendiculaire. L'échelle des Z est tracée en prolongement



de OY. Le prolongement de OX reçoit une échelle OY' exactement semblable à l'échelle OY.

Si donc, après avoir tracé la ligne MA, on prend, sur OY', $OM' = OM = b$ et que par le point M' on mène M'B' parallèle à MA, on a $OB' = \frac{OM'.OM}{OA} = \frac{b^2}{a} = z$.

L'épure de M. Siégler étant ainsi transformée, il n'est plus besoin d'un instrument spécial pour en faire usage. La règle et l'équerre ordinaire de dessinateur suffisent.

On place un des côtés de l'équerre suivant MA, puis on le ramène parallèlement à lui-même en M', et la cote du point B' où il rencontre l'axe OZ donne la surface cherchée. On peut aussi se servir d'un transparent à traits parallèles.

La transformation que M. d'Ocagne a imaginée est comme, on le voit, aussi simple qu'ingénieuse; elle rend absolument pratique le profilomètre de M. Siégler, qui devient, peut être, le meilleur des procédés graphiques pour le calcul des profils.

N° 22

NOTE

SUR LES APPAREILS DE SÉCURITÉ

LEBLANC ET LOISEAU

Par M. BROSSARD DE CORBIGNY, Ingénieur en chef des Mines.

MM. Leblanc et Loiseau, constructeurs, 15, rue de Bréa, à Paris, ont présenté à l'administration des chemins de fer de l'Etat de nouveaux appareils de sécurité qui ont été essayés, en 1881-82, aux abords de Tours. Le service du contrôle a suivi ces expériences, et, d'après ses premiers rapports, M. le Ministre des Travaux Publics a décidé, sur l'avis du Comité de l'exploitation technique, qu'une notice à ce sujet serait insérée aux *Annales*.

Tel est l'objet du présent travail.

Le but poursuivi par les inventeurs est de faire donner par les trains eux-mêmes, lorsqu'on le juge utile, les signaux indiquant leur situation sur la ligne. Les appareils se composent donc d'une pédale, d'une transmission électrique et d'un récepteur approprié au but qu'on se propose. Nous n'aurons rien à dire des transmissions électriques, qui n'offrent rien de particulier : nous donnerons seulement une indication sommaire des appareils récepteurs, mais nous insisterons avec plus de détail sur la *pédale*, qui est la partie essentielle du système.

kilomètre de son parcours entre ces deux stations, le tra en marche fait avancer les aiguilles d'une division, et même temps une sonnerie résonne pendant tout le passa du train sur chaque pédale. Le nombre des divisions d cadrans étant égal à celui des kilomètres, le tour compl des aiguilles correspond à la totalité du parcours. Ain cet appareil, indépendamment de ce qu'il rappelle fréque ment, par un signal acoustique que la voie est occupé indique à chaque instant où se trouve le train qui vie d'être expédié ou qui est attendu; il signale, si on ne pe le voir de loin, l'imminence de son arrivée et, dans l petites stations, il permet à un personnel peu nombre d'utiliser, jusqu'au dernier moment, les instants dont dispose. Il permet encore d'observer à distance la vites des trains et peut devenir un moyen utile de la constat dans un poste fixe; enfin il indique les détresses et le situation.

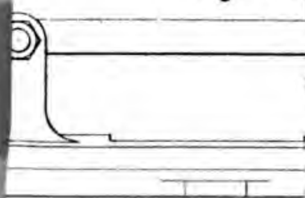
Indépendamment de ces deux appareils, MM. Leblanc Loiseau en ont construit un troisième qui serait destiné donner aux stations l'application du *block system;* mais dernier mécanisme n'a pas encore fonctionné sur le rése de l'Etat.

Nous n'avons pas, au surplus, à insister sur les divers applications dont est susceptible le principe de l'empl d'une pédale comme appareil manipulateur, mais ell sont assez nombreuses pour qu'il y ait un réel intérêt faire connaître les résultats obtenus, quoique sur u échelle encore restreinte, avec l'appareil à soufflet Lebla et Loiseau. La simplicité de sa construction et de son fon tionnement et la facilité de son entretien paraissent bi atteindre le but que se sont proposé les inventeurs.

Tours, 15 octobre 1882.

Pédale Lebla[…]

Fig. 1 *Él[…]*





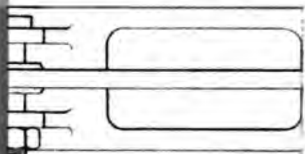


Fig. 3 *Vue par bout*

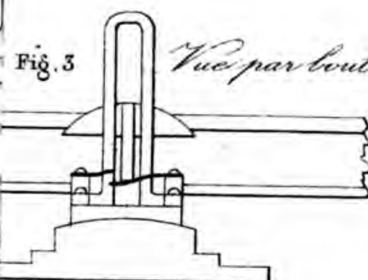
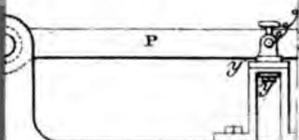
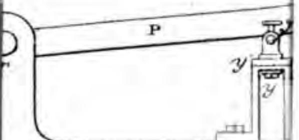


Fig. 4 *Avant le pa[…]*



[…]t

Appareil en action



Echelle des fig. 1 a […]

N° 23

NOTICE NÉCROLOGIQUE

SUR

M. Charles DIDION

Inspecteur général des Ponts et Chaussées,
Directeur de la Compagnie du chemin de fer de Paris à Orléans.

Par M. NOBLEMAIRE, Ingénieur en chef des Mines,
Directeur de la Compagnie des chemins de fer de Paris à Lyon
et à la Méditerranée.

Des pertes nombreuses et vivement ressenties frappent coup sur coup le corps des Ponts et Chaussées. C'est pour lui une ancienne et louable coutume d'inscrire à son livre d'or le nom de ceux de ses membres qui l'ont particulièrement honoré et dont il a le droit de s'enorgueillir; c'est pour l'auteur de ces lignes un devoir à la fois d'affection et de reconnaissance de retracer la vie et les services de l'homme si bienveillant, de l'éminent Ingénieur dont l'Administration publique et la grande industrie ont eu naguère à regretter la perte.

Né le 30 janvier 1803, à Charmes (Moselle), Charles Didion est entré à l'École Polytechnique en 1820. Il en est sorti le premier en 1822 pour entrer à l'École des Ponts et Chaussées. Il est devenu Ingénieur ordinaire en 1825, Ingénieur en Chef en 1841, Inspecteur divisionnaire en 1848, Inspecteur général en 1857. — Chevalier de la Légion d'honneur en 1841, Officier en 1846, Commandeur en 1864, M. Didion a pris une trop grande part à

l'histoire de nos chemins de fer en France pour n'y pas laisser une trace ineffaçable : ouvrier de la première heure dans cette industrie nouvelle dont, avec les Seguin, les Talabot, les Flachat, il avait vite entrevu et pressenti l'avenir, constructeur, dès 1832, des premières lignes ferrées du midi de la France, d'Alais à Beaucaire et de Nîmes à Montpellier, il a consacré à cette industrie la plus grande partie de sa longue carrière, et son nom demeurera indissolublement associé à celui du chemin de fer d'Orléans, qu'il a été appelé à organiser en 1852, et que pendant trente années il n'a cessé de diriger.

Les commencements de Charles Didion furent modestes et difficiles. Son père avait trois enfants ; le petit commerce qu'il exerçait à Charmes assurait, tant bien que mal, à la famille, cette vie calme et modeste des petites villes, souvent voisine du bonheur réservé à la médiocrité, souvent aussi voisine de la gêne, quand, par hasard, se font sentir jusqu'à elles les complications de la politique ou les incidents des crises commerciales.

L'éducation des enfants y est facile et peu coûteuse, mais nécessairement limitée; à quatorze ans, Charles Didion savait tout ce que pouvaient lui apprendre les modestes professeurs de sa ville natale. Les succès de l'enfant, les horoscopes flatteurs dont il est l'objet, déterminent la famille à une séparation doublement pénible : on l'envoie au collège de Nancy, et de cette époque commence une correspondance qu'il m'a été donné de parcourir, grâce au soin pieux avec lequel elle était conservée et classée par une mère naïvement confiante, dès cette époque, dans l'avenir de son fils. Le jeune provincial y occupe bientôt le premier rang, « bien que je sorte de mon village, dit-il plaisamment, et du pensionnat de l'abbé Pillard. » — Les pensionnats ecclésiastiques étaient-ils donc, dès 1818, suspects à l'Université ?

Cette existence en partie double est relativement coûteuse,

malgré tout ; on a beau essayer d'en alléger le poids par de savantes combinaisons, par la multiplication des envois confiés au messager qui, deux fois par semaine, fait le service entre Charmes et Nancy ; cela n'empêche pas que l'époque du payement des droits universitaires revienne bien fréquemment. L'enfant ne cesse de s'en lamenter dans ses lettres, en donnant à ses parents l'assurance touchante que sa bonne conduite et son travail leur rendront le fardeau moins lourd et qu'il saura les récompenser de leurs sacrifices. Son professeur, qui plus tard devait devenir son beau-frère, M. Roussel, se porte garant de ces promesses et d'une parole que, devenu homme, l'enfant a vaillamment tenue.

En 1820, il entre le quatorzième à l'École Polytechnique ; il y apporte ces habitudes de travail réglé et tranquille qui, pendant toute sa carrière, feront sa force, mais que des intelligences moins bien douées pourraient difficilement se permettre. « Notre promotion, écrit il, est infatigable et une espèce de rareté ; les salles sont presque pleines à quatre heures du matin ; il y a plus de la moitié des élèves qui ne se couchent qu'à une heure ou minuit. Et moi, qui travaille quatre fois plus qu'à Nancy, je suis ici une espèce de paresseux..... Je n'essaye pas d'en faire autant, parce que c'est un mauvais système ; je n'ai pas encore travaillé en dehors des heures d'étude..... Je ne compte guère monter cette année, parce qu'il y a trop d'élèves qui avaient sur moi de l'avance ; mais ces différences disparaîtront l'année prochaine, et rira bien qui rira le dernier. »

Il ne devait pas attendre longtemps pour « bien rire, » et, en novembre 1821, il entre en 2e division, premier de sa promotion : « Lundi matin, messe du Saint-Esprit avec sermon par l'archevêque de Paris, auquel j'ai eu l'insigne honneur d'être présenté ainsi qu'au président du Conseil, comme premier de la division. Après quoi, splendide déjeuner chez le général, avec l'archevêque, des pairs de

France, des membres de l'Institut, des généraux, et nous, chétifs, au nombre de quatre élèves, qui avons officié très dignement pour notre part. »

Au milieu de ces joies bien naturelles, les sacrifices continuaient, « les trimestres à payer semblent revenir chaque mois, » et malgré ses démarches, le chef de la promotion ne pouvait obtenir une portion de bourse, qui aurait été cependant la bien venue pour alléger les charges de la famille. Il s'en console en comptant sur l'avenir. Et cependant, bien peu s'en faut que cet avenir, qui s'annonçait si brillant et si assuré, soit brusquement brisé, transformé tout au moins, par suite d'un de ces incidents qui, plusieurs fois à cette époque, ont mis en question l'existence même de l'École Polytechnique.

Lorsque Paris est agité, il est rare que l'émotion ne gagne pas de suite la studieuse et ardente jeunesse qui, sur les bancs de l'école, n'a pas encore perdu, et croit de bonne foi qu'elle ne perdra jamais les plus généreuses illusions. Coupable, dans ces circonstances, d'une imprudence que nous avons tous impunément commise, surpris par un surveillant maladroitement zélé au moment où il remettait à la salle voisine une circulaire délicate, Charles Didion, malgré son rang à l'École, est envoyé au donjon de Vincennes, où il est gardé dix-sept jours. On était au mois de juin 1822; l'époque des examens de sortie approchait, et une séquestration dans ces conditions pouvait avoir, avec une moins riche organisation, les conséquences les plus fâcheuses. Aussi, à peine rendu à la liberté, il rompt, pendant les quelques jours qui le séparent encore des examens, avec ses habitudes de travail raisonnable et limité aux heures normales d'étude; deux examens successifs subis devant M. de Prony et M. Chevreul lui valent deux 20, et, malgré les craintes et les soucis qui avaient si justement traversé son habituelle quiétude, il sort de l'école avec le n° 1, qu'il n'avait pas perdu depuis son passage en seconde année.

A l'École des Ponts et Chaussées ces angoisses sont oubliées ; il se laisse même aller à des rêves de fortune en touchant pour la première fois, le 31 décembre, les $77^f,77$ qui représentaient alors, défalcation faite de la retenue pour la retraite, les appointements mensuels d'un élève-ingénieur.

La vie de Paris, bien modeste pourtant, deux voyages de mission, l'un à Périgueux, l'autre à Rouen et au Havre, lui montrent que le moment de la réalisation de ses rêves dorés n'est pas encore arrivé ; aussi, après l'achèvement de ses trois années d'études, préfère-t-il, à l'honneur d'assister à Paris, pendant une année, aux délibérations du Conseil général, une place en province. On le nomme, en 1825, aspirant Ingénieur à Niort.

Il y passe trois années sous les ordres paternels de M. Mesnager ; les travaux à exécuter n'étaient pas très importants, les crédits étaient rares ; un barrage éclusé près de l'embouchure de la Sèvre à Marans, une écluse auprès de Niort, la vie d'une petite ville avec ses cercles, ses coteries, ses séduisantes familiarités, tel est le bilan d'un séjour de trois années au bout desquelles il a le droit d'écrire : « Philosophe par nécessité, je trouve cette vie excellente pour un homme de quarante ans ; j'ai le sang trop actif pour ne pas quelquefois la trouver un peu monotone. »

Aussi salue-t-il avec reconnaissance la décision qui, en mai 1828, l'attache à Decize, sous les ordres de l'Ingénieur en chef Vigoureux, à la construction du canal latéral à la Loire. C'était la période des grands travaux entrepris par le Gouvernement pour établir ou améliorer les canaux. L'impatient Ingénieur allait y trouver, en compagnie de ses camarades Job, Belin et Talabot, un large aliment à son activité, à son besoin d'apprendre le métier à la véritable école, celle de la pratique. A la suite de la tentative infructueuse faite, en 1829, par le Gouvernement, pour traiter avec des compagnies l'achèvement et l'exploitation de ces

voies navigables, le travail reprend de plus belle, et ce ne sont pas, on le croira facilement, les conditions un peu austères du séjour dans l'île de Decize qui peuvent distraire le jeune et zélé ingénieur des travaux de bureau et de chantiers qu'il dirige tous lui-même et qu'il considérera toujours comme l'origine de son expérience des travaux et de sa fortune à venir.

La révolution de 1830 éclate, ramenant, comme d'usage. à la surface, par un mouvement naturel d'ébullition, toutes les idées qui touchent ou croient toucher à la solution de ces problèmes sociaux, souvent résolus, dit-on, et toujours à résoudre.

Le *Système industriel* de Saint-Simon, son *Nouveau Christianisme*, avaient enflammé une foule d'esprits passionnés et aventureux, esprits d'élite au demeurant pour la plupart, et dont un grand nombre ont survécu au ridicule de certaines manifestations de la religion nouvelle et laissé dans notre histoire industrielle une trace lumineuse. C'est de cette époque que datent les relations de M. Didion avec Enfantin, Transon, Pereire, Fournel, Michel Chevalier, Arlès. Son éloignement de Paris, sa haute et sereine raison devaient le prémunir contre les exagérations auxquelles échappent difficilement les apôtres des idées nouvelles. Il allait d'ailleurs trouver bientôt, sur un champ de bataille digne de lui, l'occasion d'appliquer dans la juste mesure les idées de ses amis sur la reconstitution de l'ordre social par l'industrie.

Le canal d'Aigues-Mortes à Beaucaire, dans lequel la famille du maréchal Soult avait de grands intérêts, avait attiré de Bourges à Nîmes, depuis 1829, un jeune Ingénieur que l'État avait chargé d'exécuter pour le compte de la Compagnie tous les travaux nécessaires, et qui allait trouver dans le Gard le point de départ d'une admirable carrière industrielle, M. Paulin Talabot. Il y attire à son tour son ami et camarade Charles Didion, qui sollicite et ob-

tient le service ordinaire de l'arrondissement de Nîmes.

Un service ordinaire à Nîmes, en 1832, devait laisser quelques loisirs à son titulaire. M. Didion le pensait bien, il y comptait; il comptait aussi sur l'esprit d'initiative de son ami, sur la richesse du pays pour utiliser ses heures disponibles et donner libre carrière aux aspirations qui leur étaient communes.

« D'après Talabot, écrit-il le 8 mars 1832, la prospérité commerciale est plus grande dans ce pays qu'elle ne l'a été depuis quinze ans. L'enquête pour le chemin de fer se continue; il espère faire une belle entreprise d'eaux à conduire à la ville de Nîmes, et projette un très grand dessèchement de marais, enfin un pont suspendu. Voilà plus de besogne que nous n'en pourrons faire, si la gastrite de Talabot le laisse plus libre de se fatiguer. Malheureusement il est bien souffrant... J'espère beaucoup de nos projets avec lui; une fois lancés, nous pourrons peut-être aller loin, si la paix continue, comme cela est probable. »

C'est à Nîmes que se noue plus étroitement entre ces deux éminents collaborateurs une amitié fidèle, qui, pendant cinquante années, les a liés dans une inaltérable et féconde intimité.

M. Didion y arrive au mois de juillet 1832, et, pour unir plus étroitement leurs efforts, les deux amis font ménage commun dans une vaste maison où se trouvent à la fois leurs bureaux et leur domicile personnel, séparés les uns des autres par un jardin inondé d'air et de lumière. Séduisante installation pour ceux qui, comme eux, aiment la nature méridionale, ne se laissent effrayer ni par la poussière de Provence, ni par son soleil de juillet, et que charment au contraire son ciel bleu, ses âpres parfums, ses lumineux horizons et le chant des cigales.

Sous l'influence des passions religieuses surexcitées par cette ardente nature, les agitations à Nîmes sont fréquentes, les discordes parfois profondes. On le sait en Lorraine

et on s'en inquiète; le nouvel arrivé s'empresse de faire connaître à sa mère le pays auquel, pour de longues années, il va lier sa destinée.

« Notre maison est à M. de S..., aujourd'hui poursuivi comme carliste et caché. En cas de révolution, les protestants nous laisseraient paisibles, puisque nous sommes de leurs amis; et si les catholiques, plus nombreux, prenaient le dessus, notre maison, appartenant à un chef de leur parti, serait pour eux l'Arche sainte. La ville, du reste, est fort paisible aujourd'hui, grâce à la conduite prudente et modérée du Préfet, M. de Lacoste. Mais la population est autrement vivante que dans nos villes du Nord. Sur les boulevards qui entourent la ville, on circule au milieu d'une foule vive et pétulante dont l'air de gaieté est inconnu sous notre ciel gris du nord et du centre de la France. Ce sont là les éléments de la bruyante émeute; mais les partis se connaissent parfaitement; les pierres et les coups de poing ont toujours une adresse bien déterminée; de sorte que les étrangers pourraient, sans inconvénient, se mettre aux premières loges. »

Le service des routes pour M. Didion, le service du canal de Beaucaire pour M. Talabot ne pouvaient suffire à leur exubérante activité; ils exécutent de concert, avec autant d'habileté que de promptitude, d'importants travaux de dessèchement dans les étangs historiques que traverse ou côtoie le canal de Beaucaire à Aigues-Mortes, et complètent les projets du chemin de fer d'Alais à Beaucaire, pour lesquels une société d'études avait été organisée par M. Paulin Talabot et dont les avant-projets avaient été, dès 1831, présentés par lui au Conseil général des Ponts et Chaussées.

Sur l'insistance de M. Odilon Barrot et malgré la résistance de M. Thiers, aussi peu enthousiaste des chemins de fer dans le Midi que dans le Nord, le Gouvernement se décide à donner suite aux projets depuis si longtemps à l'étude, et

la loi du 29 juin 1833 approuve l'adjudication passée au profit de MM. Talabot, Veaute, Abric et Mourier.

On a bien usé depuis cette époque (et abusé) des prospectus destinés à faire connaître au public, qu'on veut enrichir malgré lui, le but, l'utilité, les avantages des entreprises qu'on lui propose. Ces procédés n'étaient pas encore de mode alors, mais on lira, croyons-nous, avec intérêt la lettre intime, aussi nette que précise, dans laquelle M. Didion exposait à sa famille le résultat de leurs communes études, l'objet et l'avenir probable de l'œuvre qu'ils allaient entreprendre :

« Mars 1833. — Le chemin de fer d'Alais à Beaucaire est destiné à faire arriver à bon marché à Beaucaire tous les produits du bassin d'Alais. A partir de là, les transports se font aisément, d'une part sur Marseille et Toulon par le Rhône et la Méditerranée, et d'autre part sur Montpellier, Toulouse et tout le Midi par les canaux de Beaucaire et du Languedoc. Le bassin d'Alais, riche en mines de toute espèce, est surtout très bien pourvu de houille et de minerai de fer : la houille est de la meilleure qualité, mais les frais de roulage sont trop élevés pour que sa consommation puisse s'étendre en dehors du département, et on n'en tire actuellement que 30 000 tonnes pour le service des machines, des distilleries et des forges d'Alais. La consommation de Marseille et de tout le Midi est alimentée par la houille de Saint-Étienne, qui descend le Rhône; mais du jour où les houilles d'Alais arriveront à bon marché au port de Beaucaire, elles s'empareront de tout le marché du Midi, qui, aujourd'hui, consomme au moins 60 000 tonnes, et qui en consommera d'autant plus que les prix baisseront davantage. Ce sera là le principal service du chemin de fer. Il aura 24 lieues de longueur : 4 d'Alais jusqu'aux mines, 14 d'Alais à Nîmes et 6 de Nîmes à Beaucaire; le transport, qui coûte aujourd'hui 34 francs des mines à Beaucaire, ne coûtera plus que 12 francs par le chemin de fer. Aussi les

propriétaires houillers n'ont-ils pas hésité à prendre envers la compagnie du chemin de fer l'engagement de livrer 80 000 tonnes au moins à la circulation. Après les houilles viendront les produits des hauts fourneaux et des forges d'Alais. Cet immense établissement, que dirige notre camarade de Billy, est monté pour donner 10 à 12 000 tonnes de fer ou de fonte par année, et tout annonce qu'on y pourra fabriquer le fer à aussi bon marché qu en Angleterre.

« Sans même compter les produits de la foire de Beaucaire, le tarif de l'adjudication donne un produit brut de plus de 1 100 000 francs; les frais d'entretien et de machines étant évalués à 350 000 francs, d'après les plus coûteux des chemins de fer aujourd'hui en activité en Angleterre, il en résulte un produit net de 750 000 francs. Nos estimations, faites largement, montent à 8 millions de francs, qui seront le fonds social. En prélevant 400 000 francs pour les intérêts, il en résulte un bénéfice annuel de 350 000 francs, à répartir pour amortissement et dividende. »

Avec un pareil exposé et une pareille signature, il ne serait pas malaisé aujourd'hui de recueillir immédiatement un capital même beaucoup plus important. Mais on était en 1833, et ce ne fut pas, à cette époque, la partie la plus facile de la tâche du créateur de cette entreprise, que de lui assurer la confiance de quelques capitalistes.

M. Paulin Talabot obtient d'abord celle des principales maisons de commerce de Marseille et de Nîmes; par acte du 27 juillet 1837 se constitue la société des mines de la Grand'Combe et des chemins de fer du Gard, entre MM. Jules, Léon et Paulin Talabot, Louis Veaute, Abric, Mourier, Fraissinet et Roux, Jean Luce, Joseph Ricard, Delort et Fournier frères, ayant pour objet l'aménagement et l'exploitation des mines de la Grand'Combe et l'exécution des chemins de fer de Beaucaire à Nîmes, Alais et la Grand'Combe.

Le concours empressé et généreux que prête à l'entre-

prise nouvelle le baron James de Rothschild, plein de foi dans son avenir, et enfin un prêt de l'État, remboursable en charbon à fournir à la marine militaire à Toulon, assurent la réalisation de l'œuvre si patiemment et si soigneusement étudiée.

Les travaux vont enfin entrer dans leur phase active. M. Didion sollicite, en mars 1837, sa mise en congé illimité et se consacre avec ardeur à l'exécution de travaux difficiles moins encore par leur importance que par leur nouveauté. En dehors du chemin de Saint-Étienne, établi dans des conditions particulières, et si bizarrement desservi alors par l'emploi de tous les moyens de traction, par des chevaux, des machines fixes et des câbles, par la gravité et même par des locomotives, celui d'Alais à Beaucaire était, en effet, le premier exemple d'un chemin de fer établi sur un type qui depuis n'a plus varié.

Confondus dans une action et une vie communes, M. Talabot s'occupe, en même temps que des travaux, des affaires générales de la compagnie, de son organisation financière, des dispositions à prendre pour la mise en valeur des mines et l'exploitation du chemin de fer, M. Didion, plus spécialement de la direction de la construction.

Tout y était à créer, et pour les travaux proprement dits et pour les affaires administratives. Pour les travaux, l'expérience qu'il avait acquise sur les chantiers de Decize allait suppléer à l'insuffisant bagage de l'École des Ponts et Chaussées (*). Le personnel fait également défaut : il recourt pour le former à quelques agents du cadastre, à quelques jeunes gens sortant de l'École centrale et qui apprennent le métier auprès de trois conducteurs déjà

(*) Les cours de l'École des Ponts et Chaussées n'étaient pas en 1825 ce qu'ils sont devenus depuis, et l'on y remplaçait parfois la précision scientifique par une douce familiarité. M. Didion aimait à titre d'exemple à citer ce passage d'une des leçons qu'il y avait reçues « que pour qu'une pile pût faire culée, il fallait lui donner *pas mal* d'épaisseur. »

expérimentés que M. Talabot avait amenés du canal du Berry; l'un d'eux, M. Bourdaloue, devait se faire plus tard une spécialité et un nom qui demeurent connus. Les affaires contentieuses, administratives, étaient nouvelles et délicates, puisqu'il s'agissait de faire en grand l'une des premières applications de la loi récente du 7 juillet 1833, sur les expropriations. Les difficultés se résolvent cependant grâce au caractère toujours égal, à l'humeur enjouée de M. Didion, à son extraordinaire facilité de travail; la jurisprudence s'établit grâce au concours d'un jurisconsulte que le barreau de Nîmes s'honore de compter encore dans ses rangs, M. Fargeon, jeune avocat alors, et intimement associé à la vie, aux joies et aux préoccupations des deux amis.

Ceux-ci commandent à l'usine d'Alais (Tamaris) les premiers rails qu'elle ait fabriqués et multiplient les voyages en Angleterre pour y étudier les conditions de la construction et de l'emploi du matériel roulant. Cordialement accueillis par l'illustre George Stephenson, ils se lient avec son fils Robert, qui peu d'années auparavant, en 1829, appliquant aux locomotives l'invention de Marc Seguin, le célèbre créateur du chemin de Saint-Étienne, avait remporté le prix du concours à Liverpool, et, complétant ainsi l'œuvre paternelle, donné à la locomotive le caractère essentiel que, sous des formes et avec des dimensions bien différentes, elle a conservé depuis. Chaque année il visite sur son yacht les rivages, de la Méditerranée, touche à Marseille, visite à Nîmes ses deux amis et les aide à y installer les ateliers de réparation du matériel roulant. Les locomotives nécessaires à l'exploitation future sont commandées moitié aux ateliers de Sharp à Manchester, moitié à ceux de Robert Stephenson à Newcastle.

Enfin une première partie de la ligne est livrée à la circulation le 15 juillet 1839, de Nîmes à Beaucaire, au moment de l'ouverture de la célèbre foire, alors dans tout

son éclat, et au milieu des transports d'enthousiasme de la population bigarrée qui, de toutes parts, s'y donnait rendez-vous. La seconde partie, retardée par dix-huit crues successives du Gardon qui gênent et compromettent même, dans l'hiver de 1839, l'achèvement du pont de Ners, le principal ouvrage de cette section, est livrée à la circulation le 1er août 1840.

On nous pardonnera d'avoir redit avec quelques détails les circonstances de l'exécution du premier chemin type qui ait été exécuté dans notre pays, et le début dans la vie industrielle des deux Ingénieurs qui laisseront dans l'histoire de nos chemins de fer la trace la plus profonde et la plus brillante.

Leur collaboration ne s'était pas bornée à l'exécution du chemin d'Alais à Beaucaire : ils étudient complètement, de 1838 à 1840, le chemin de Marseille à Avignon, opposent au tracé par la vallée de la Durance, alors préconisé par M. de Montricher, l'habile auteur du canal de Marseille, le tracé par Arles et la Crau, et en font prévaloir l'adoption.

« Le chemin de Beaucaire achevé, l'un de nous deux, dit M. Didion, devient un pléonasme; » et, tout en continuant une collaboration si féconde, tant que se prolongera leur commun séjour à Nîmes jusqu'en 1845, les deux amis suivent, à partir de 1840, deux voies distinctes, mais parallèles, qu'ils parcourront jusqu'au bout avec un égal éclat.

M. Didion entreprend le chemin de Nîmes à Montpellier, et depuis cette époque il n'est pas, du nord au midi de la France, une entreprise de chemin de fer qui ne sollicite ses conseils ou son concours.

M. Paulin Talabot, fidèle à la région qu'il aime et soutenu par une inébranlable confiance dans l'avenir du pays, dans les grandes destinées qui attendent Marseille, poursuit et achève l'entreprise qu'il a conçue et créée ; à Beau-

caire-Alais, succèdent Avignon-Marseille, en 1843; puis Lyon-Avignon, en 1851. — Conception de l'idée, organisation financière, étude et construction des lignes, tout lui appartient, tout est son œuvre. Les chemins construits à côté de ceux-ci, dans l'Hérault et le Gard, sont réunis aux premiers et forment, en 1852, la compagnie de Lyon à la Méditerrannée, qui, bientôt transformée par une fusion, dont il est le premier artisan, avec les chemins de fer de Paris à Lyon, de Dijon à la frontière suisse, de Lyon à Genève et du Bourbonnais, deviendra, en 1857, le chemin de Paris à Lyon et à la Méditerranée. Malgré les soucis incessants de l'organisation et de la direction d'une pareille affaire, il trouve le temps d'organiser, comme en se jouant, les plus grandes entreprises industrielles de notre époque en France et à l'étranger : les chemins de fer du sud de l'Autriche, les chemins de fer d'Algérie, les mines de Mokta-el-Hadid, qu'il reprend ruinées pour les amener, en peu d'années, au plus haut degré de prospérité; les sociétés financières, les usines métallurgiques en Russie; en France, la société des transports maritimes à vapeur, dont les transports de minerai de Mokta sont l'origine et la raison d'être, sollicitent tour à tour son activité. Quand la mort du collaborateur éminent qu'il s'était adjoint, M. Audibert, le force, en 1873, à ressaisir le gouvernail, il se remet, à soixante-quatorze ans, à l'œuvre de sa jeunesse avec la résolution, la sérénité qu'aucune épreuve ne peut ébranler, et reprend, pendant neuf années, avec les fatigues et les soucis des luttes de chaque jour, la direction générale de cette grande entreprise de Paris à Lyon et à la Méditerranée; il lui conserve aujourd'hui les conseils de sa haute expérience, et son nom reste encore pour elle un drapeau, à l'ombre duquel est fière de servir l'armée qu'il a si longtemps et si vaillamment commandée.

Ces quelques années passées à l'industrie, en assurant à

M. Didion une modeste indépendance, lui avaient permis de réaliser vis-à-vis de sa famille les espérances qu'exprimait au collège de Nancy l'enfant justement confiant dans son avenir. Son ambition de philosophe n'allait pas beaucoup plus loin. On lui offre, en 1840, la direction de la construction du chemin de fer de Paris à Rouen : il préfère rentrer au service de l'État, « espérant, dit-il, que le corps l'accueillera volontiers et sans rancune. » Il accepte l'offre de M. le comte Jaubert, Ministre des Travaux Publics, et prend la direction de la construction du chemin de fer de Nîmes à Montpellier, destiné à prolonger le chemin de Montpellier à Cette, alors entrepris par le baron de Mecklembourg, et à relier ainsi le bassin du Gard à la mer par une voie ferrée ininterrompue.

Le 20 janvier 1841 il est nommé Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, et décoré de la Légion d'honneur le 4 avril, à trente-huit ans. Ces deux distinctions étaient noblement gagnées.

De 1840 à 1845, il se consacre à la construction du chemin de Montpellier, que sa nature aimable et conciliante lui permet de mener à bien, malgré des difficultés de plus d'un genre où les questions de la construction technique jouaient un rôle moins important encore que les questions de personnes et d'administration générale. L'exploitation en est remise à une compagnie fermière, qui la conserve jusqu'à la constitution, en 1852, de la compagnie de Lyon à la Méditerranée.

En 1845, après deux voyages d'études successifs en Belgique, en Angleterre et en Écosse, le choix éclairé de l'éminent sous-secrétaire d'État qui a donné une si vive et si utile impulsion à l'exécution de nos travaux publics, M. Legrand, le fait venir à la résidence de Paris, qu'il ne devait plus quitter, et l'appelle à succéder à M. Avril comme secrétaire du conseil général des Ponts et Chaussées. Il n'y fait qu'un séjour de dix-huit mois, cède à M. Busche une

place dont le titre seul constitue pour l'Ingénieur qui l'occupe un honneur justement recherché, et il est choisi, le 23 juillet 1846, par la compagnie concessionnaire du chemin de fer de Bordeaux à Cette pour prendre la direction de la construction de ce chemin, qu'il organise en y appelant MM. Job et Belin, ses anciens collaborateurs du canal latéral à la Loire.

On était alors au milieu de cette longue période d'enfantement de laquelle ne devait sortir qu'en 1852, après bien des soubresauts et des catastrophes, l'organisation actuelle de nos chemins de fer, période d'ardente ébullition, où à des engouements irréfléchis succédaient d'injustifiables défiances. Le crédit des compagnies naissantes n'était pas encore assez solidement établi pour résister à de pareilles bourrasques; la crise financière et commerciale de 1847, avant-coureur de la crise politique bien autrement redoutable de 1848, fait subir à toutes les valeurs une énorme dépréciation. Plusieurs compagnies, dont la fortune actuelle, rapprochée des misères du début, offre un singulier et instructif contraste, Bordeaux à Cette, Lyon à Avignon, sombrent dans la tourmente et, hors d'état de remplir leurs engagements, sont déclarées déchues. M. Didion reprend sa liberté, et on lui confie (novembre 1847) l'achèvement de la ligne de Paris en Belgique et le contrôle des travaux des embranchements sur Calais, Dunkerque et de Creil à Saint-Quentin.

La Révolution de 1848 éclate avec son inévitable cortège de bouleversements et de ruines : les capitaux inquiets et méfiants se retirent, les entreprises commencées s'arrêtent : les chemins de fer de Paris à Orléans, de Marseille à Avignon, etc., doivent être mis sous séquestre, celui de Paris à Lyon racheté; au mouvement fécond des dernières années succède cette agitation dans le vide, ordinaire apanage des temps troublés ; les problèmes sociaux, plus insolubles que jamais aux époques et par les procédés révo-

lutionnaires, surgissent de toutes parts. M. Didion, nommé Inspecteur divisionnaire des Ponts et Chaussées le 1er avril 1848, se fait-il illusion à ce sujet? « La grande question de la politique à venir, écrit-il à cette époque, c'est l'organisation des ouvriers Voilà notre vieux groupe saint-simonien justifié pleinement ; il deviendra, je l'espère, très utile, parce que tous nos amis ont des positions respectables et veulent l'ordre avant tout en même temps qu'ils comprennent mieux que les autres la situation et ses difficultés. » Il était à coup sûr indiqué naturellement au choix du Ministre des Travaux Publics pour une mission difficile, dangereuse peut-être, dans le bassin de la Loire. Faut-il en faire honneur à l'application des principes chers à l'école de Saint-Simon, ou simplement à la haute et calme raison de l'ambassadeur, à son sens pratique, à son expérience des hommes et des choses? C'est à toutes ces causes, sans doute, qu'il faut attribuer le succès complet d'une intervention qui alors dénoua les difficultés et concilia, à la commune satisfaction, les prétentions, que les fauteurs de troubles seuls disent inconciliables, des mineurs et des concessionnaires de mines.

Pendant quatre années consécutives M. Didion prend part aux travaux du Conseil général des Ponts et Chaussées et se consacre exclusivement, en apparence du moins, au service de son inspection dans la région des Alpes. En réalité, son activité s'étendait dans un bien autre rayon. Le général Cavaignac, son camarade d'école, avait désiré s'attacher plus officiellement un concours dont il connaissait tout le prix, et lui avait offert le Ministère des Travaux Publics. Avec la profonde sagesse qui ne l'a jamais abandonné, M. Didion fuyait l'éclat et les grandeurs, il avait l'horreur des vaines agitations de la politique. Il refusa, préférant se borner au rôle plus modeste et plus utile de conseiller intime; et, pendant toute cette période, aucune question de chemin de fer ne s'est traitée en dehors de lui au Minis-

tère : études de cahier des charges, traités d'exploitation, organisation de séquestre, dans toutes ces affaires nouvelles et délicates, on était trop heureux de recourir à sa haute expérience et à sa prodigieuse faculté de travail.

En 1852, une contre-révolution rendait aux capitaux la confiance, en dehors de laquelle les grands travaux d'utilité publique peuvent bien être décrétés, mais sans laquelle ils ne peuvent ni s'entreprendre ni prospérer.

De cette époque date l'idée pratique et féconde qui a donné naissance au régime actuel de nos chemins de fer, régime dont une expérience de trente ans a consacré l'efficace élasticité, et que d'imprudents novateurs voudraient aujourd'hui mettre en question.

Les nombreuses petites compagnies qui poursuivaient alors, chacune de son côté, l'achèvement et l'exploitation de réseaux dont toutes les parties ne devaient pas jouir d'une égale prospérité, se réunissent, sous l'énergique impulsion du Gouvernement et se fusionnent en sept grands réseaux; la durée de leur concession est portée à 99 ans. Le crédit des compagnies ainsi constituées se relève rapidement et le Gouvernement non-seulement se décharge sur elles des engagements qu'il avait dû contracter, mais encore leur fait accepter, trop facilement peut-être, — l'expérience devait le prouver en 1857, — la concession d'une série de lignes nécessaires au pays, mais destinées à rester longtemps improductives et dont l'exécution aurait été impossible avec l'ancien système de petites compagnies indépendantes et rivales.

M. Didion était naturellement désigné pour la direction d'un des grands réseaux qui venaient de se constituer : la compagnie de Paris à Orléans eut l'heureuse pensée de l'appeler à elle au moment où elle allait absorber par fusion les compagnies du Centre, d'Orléans à Bordeaux, de Tours à Nantes, et se charger, en outre, de l'exécution des lignes de Poitiers à la Rochelle et à Rochefort, portant ainsi à

1 500 kilomètres l'étendue d'un réseau depuis longues années limité à l'exploitation des 106 kilomètres d'Orléans à Paris et qui en 1882, au moment de la mort de son premier Directeur, devait atteindre un développement de 4 500 kilomètres.

Ce n'était pas une tâche aisée que celle qui consistait à unifier les services de tant de compagnies diverses, ayant jusqu'alors obéi à des administrations individuelles qu'inspirait le soin d'intérêts divergents, quelquefois contradictoires et rivaux; à substituer à leurs points de vue particuliers, forcément étroits, une direction large, intelligente de l'intérêt commun du public et d'une grande société; à ramener à une règle uniforme les multiples éléments qui devaient constituer cet important ensemble; à résoudre enfin les difficultés que soulevaient nécessairement dans une fusion de cette nature les questions de personnes.

L'esprit élevé et généralisateur de M. Didion, son humeur égale et douce, son caractère à la fois ferme et conciliant, devaient lui permettre de résoudre tous ces problèmes, dont quelques-uns, et des plus délicats, s'étaient déjà présentés à lui au chemin de fer de Nîmes à Montpellier.

Une des plus sérieuses difficultés pour ceux qui sont appelés au pesant honneur de diriger d'aussi grandes entreprises, c'est de discerner les aptitudes de leurs collaborateurs, d'utiliser au mieux tous les concours, en mettant chacun à sa vraie place. Ces qualités d'observation et de jugement, M. Didion les possédait au plus haut degré.

Il confie à M. Morandière la construction des lignes nouvelles. Fidèle aux habitudes anglaises que lui avait inculquées à Nîmes son ami Stephenson, convaincu d'ailleurs, qu'au moins dans une période d'organisation aussi laborieuse, il faut simplifier le travail et laisser la part la plus large à l'esprit d'entreprise, il étend à tout le réseau, en le modifiant d'une façon favorable aux intérêts de la compagnie, le traité de traction que M. Polonceau avait passé

avec la compagnie d'Orléans, et que seule devait rompre, plus tard, la mort de cet habile ingénieur. Quant à l'exploitation proprement dite, qui comprend le service des trains et des gares, l'étude et l'application des règlements techniques et des tarifs de transport, il était impossible de ne pas administrer directement une matière aussi importante au point de vue de la sécurité, aussi délicate au point de vue des intérêts commerciaux qu'il faut connaître, ménager et satisfaire. M. Didion va chercher, pour le mettre à la tête de cet important service, un jeune ingénieur des Ponts et Chaussées, alors attaché à l'entretien de la voie et que rien ne semblait avoir préparé à l'exercice de ces nouvelles fonctions. J'ai nommé Solacroup, dont il fit — avec quel succès! toute notre génération en a été le témoin — le chef de l'exploitation du réseau agrandi, et qui demeura toute sa vie son ami fidèle et confiant, son respectueux et dévoué collaborateur. Les autres ingénieurs dont alors et depuis il a su s'entourer sont aujourd'hui encore sur la brèche. Pas n'est besoin de les nommer, chacun les connaît, chacun sait à quel point ils sont dignes de leurs anciens et conservent fidèlement leurs sages traditions.

Le hasard des circonstances, ou plutôt l'enchaînement logique des faits qui se rapportent au développement des travaux publics dans notre pays, avait rapproché, à Paris, les deux amis qui, de 1832 à 1845, avaient fait à Nîmes leurs premières armes dans la construction et l'exploitation des chemins de fer. A cette même époque de 1852, M. Paulin Talabot était devenu Directeur général de la compagnie de Lyon à la Méditerranée, constituée par la fusion des compagnies d'Alais à Beaucaire, de Nîmes à Montpellier, de Cette à Montpellier, d'Avignon à Marseille et de Lyon à Avignon. Ils reprennent alors sinon la vie commune de la jeunesse au moins une communauté d'efforts, une collaboration qui, pour n'être pas aussi directe et aussi continue, n'en devait pas moins être utile et féconde.

La réorganisation du Ministère des Travaux Publics en 1855 avait appelé à la direction générale des chemins de fer un de leurs plus fidèles amis, M. de Franqueville, celui de leurs camarades dont ils estimaient le plus la vive intelligence, le caractère aimable, l'esprit ouvert et conciliant. Depuis cette époque, on peut dire avec raison qu'aucune grande mesure n'a été prise, qu'aucune réforme n'a été faite dans l'organisation des chemins de fer en France, qui n'ait été, à des degrés divers, l'œuvre commune de ces trois maîtres.

C'est sous leur impulsion et par leur accord que s'effectue, en 1857 et 1859, l'extension du réseau d'Orléans, notamment par l'incorporation d'une partie du Grand-Central, ce septième réseau qui, malgré les plus grands efforts, n'avait pu trouver en lui-même les éléments d'une vitalité propre, et que se constitue le grand réseau de Paris à Lyon et à la Méditerranée par la fusion des compagnies de Paris à Lyon, de Lyon à Genève, du Dauphiné et de Lyon à la Méditerranée.

C'est à leur commune collaboration qu'on doit l'œuvre de 1859 qui, complétant et étendant celle de 1852, a constitué sur les bases que l'on sait l'ensemble du réseau français et associé à sa construction et à son achèvement les efforts du Gouvernement et de l'industrie privée.

Une nouvelle crise commerciale menace, en 1857, de compromettre l'achèvement des chemins de fer concédés; les compagnies concessionnaires sollicitent la revision de de leurs contrats, et le Gouvernement, avec une perspicacité et une résolution dont il n'a pas eu à se repentir, décide qu'il n'y a pas lieu de s'en tenir au droit strict dont il est armé vis-à-vis des compagnies, dont les intérêts particuliers ne sont pas seuls en jeu dans une pareille crise. Mais de quelle façon devait-il, sans trop engager les ressources du Tresor, venir le plus utilement à leur secours et préparer le développement ultérieur du réseau en vue de la lutte

redoutable que les traités de commerce, dès lors en préparation, annonçaient comme prochaine?

Les réseaux concédés sont divisés en deux. Dans l'ancien réseau sont classées les lignes alors exploitées et celles des lignes en exécution dont le revenu paraît le plus assuré; ce réseau peut se passer de l'aide de l'État; non seulement il vivra par lui-même, mais il devra venir en aide aux lignes improductives dont l'ensemble forme ce qu'on appelle le nouveau réseau.

Pour faciliter l'achèvement de ce dernier, l'État prend à sa charge une partie du capital d'établissement et lui alloue, à fonds perdu, d'importantes subventions.

Mais, eussent-elles atteint la totalité de ce capital, elles n'auraient pas suffi à rendre bonnes par elles-mêmes des lignes dont la plupart ne devait pas même couvrir leurs frais d'exploitation. Aussi le Gouvernement y ajoute, pour toute la portion du capital que les compagnies consacreront à l'exécution du nouveau réseau et pour une période de cinquante ans, une garantie d'intérêts qui, elle, ne constituera qu'une simple avance et que les compagnies devront ultérieurement lui rembourser, intérêt et principal. Mais pour tenir compte de l'accroissement de produits que devait sans doute assurer à l'ancien réseau l'existence des lignes par elles-mêmes improductives du nouveau, il décide que l'ancien réseau contribuera à alléger le montant de la garantie promise au nouveau, en déversant sur lui tout l'excédent de ses produits nets au delà d'une certaine limite, celle même qu'on avait atteinte à cette époque et qui constitue ainsi le revenu réservé de l'ancien réseau.

Si le pays est insatiable dans ses demandes, et nous ajouterons s'il doit l'être, c'est le devoir des gouvernants de mesurer aux efforts possibles la satisfaction à donner à d'incessantes demandes. A ce devoir, le Gouvernement d'alors n'a pas failli; ce problème redoutable, il l'a résolu par cette formule célèbre si souvent citée, si souvent mal

comprise, bien quelle soit aussi simple que rationnelle, à laquelle restera justement attaché le nom de Franqueville, qui, avec autant de netteté que de clairvoyance, en a fait comprendre dès l'origine la portée et les résultats probables.

Pendant treize années consécutives, jusqu'en 1865, M. Didion conserve la direction de la grande entreprise qu'il a vu naître pour ainsi dire; il en règle l'administration technique, commerciale et financière en imprimant à chacune de ses parties ce cachet d'homogène simplicité, d'ordre et de raison qui le distinguaient lui-même au plus haut degré; il en fait une organisation méthodique que toutes les compagnies peuvent se proposer de prendre pour type et pour modèle.

En 1864, il est nommé commandeur de la Légion d'honneur. Cette distinction si méritée lui est annoncée par M. de Franqueville avec l'aimable délicatesse qui était l'essence même de son caractère. « Le plaisir que vous causera cette nomination, lui écrit-il, ne serait pas complet si je ne vous apprenais que la même distinction est accordée par l'Empereur à notre ami Talabot. »

M. Didion la considère comme le couronnement d'une ongue et laborieuse carrière administrative et industrielle. Avec cet esprit de sagesse et de raison qui ne devaient jamais l'abandonner, et dont les exemples sont trop rares, il sait se soustraire à temps aux implacables fatigues d'un labeur sans relâche. Il avait su se préparer un successeur digne de lui, et, en 1865, il se décharge du fardeau de ses fonctions actives sur le plus ancien de ses collaborateurs, sur Solacroup, alors en possession d'une force physique et intellectuelle qu'il semblait qu'aucune fatigue ne dut de longtemps ébranler.

Il est alors nommé délégué général du conseil et, à ce titre, chargé de la haute surveillance des travaux et du contrôle de tous les services de la compagnie ainsi que des négociations de diverse nature qu'elle avait à suivre

soit avec les autres compagnies soit avec le Gouvernement.

Ce fut pour lui, de 1865 à 1882, une période de loisirs relatifs. De pareilles intelligences ne sauraient demeurer inactives; il eut du moins la faculté de laisser la sienne se porter sur d'autres points que ceux qui, depuis tant d'années, étaient l'objet de ses exclusives préoccupations. « Je puis enfin lire, » disait-il avec un vrai bonheur! Et de fait que ne lut-il pas et, avec l'étonnante mémoire qu'il conserva jusqu'au dernier jour, que ne sut-il pas apprendre et retenir?

Un jour c'est la botanique qui fixe son attention dans une des nombreuses visites qu'il fait à Trouville à son ancien camarade et ami Léonce Reynaud, lui aussi alors un des lumineux survivants de ces lointaines promotions du commencement de la Restauration. En un an, il a tout lu, tout classé, tout retenu; les classifications les plus ardues des Candolle, des Bentham et Hooker, des Lemaout et Decaisne, tout est analysé, comparé, discuté et rivé dans une mémoire qui ne savait pas oublier.

Un autre jour, une curiosité à satisfaire, une étymologie à découvrir le pousse à reprendre peu à peu l'étude des langues. Il n'était pas homme à se contenter de la jouissance, devenue un peu banale, de traduire en vers ou en prose les poésies éternellement jeunes d'*Horace;* c'est dans les fraîches *Idylles de Théocrite,* dans les *Odes de Pindare,* dans l'antique *Iliade* qu'il veut se retremper aux sources pures de la littérature et de la poésie.

Ce fut pour lui l'origine d'une longue série d'études de linguistique comparée. Maître bientôt de tous les principes découverts et si philosophiquement exposés par les Celsius, les Brachet, les Max Muller, son esprit précis et méthodique n'est pas de ceux que satisfont des expositions résumées et des affirmations sans preuves, il fallut remonter à l'étude des sources elles-mêmes. La lecture des découvertes de Suse et de Ninive l'amène à l'étude des inscrip-

tions cunéiformes que nous ont laissées en si grande abondance les Persans, les Mèdes et les Assyriens. Il se passionne pour la merveilleuse intuition avec laquelle, d'après les quelques mots de la célèbre inscription de Persépolis, Grotefend en déchiffre les caractères et devine le langage que parlaient les Aryens-Persans, pour la patience et le bonheur avec lesquels Rawlinson, grâce à la grande inscription trilingue de Suse, reconstitue les langues sémitiques des Mèdes et des Assyriens.

Puis ce fut l'Égypte avec sa merveilleuse histoire, sa chronologie encore incertaine, mais reculant si loin au delà des limites admises avant les découvertes des Champollion et des Rougé, des Mariette et des Maspero, l'apparition sur notre globe de l'humanité intelligente et civilisée.

Enfin la recherche de l'origine des langues indo-germaniques et des races qui peuplent presque toute l'Europe actuelle l'entraîne, avec Burnouf, vers l'Inde avec sa primitive théogonie, vers l'étude de la langue antique si riche en monuments littéraires que, dans leurs longues migrations, les Aryas de la vallée de Cachmyr ont répandue, avec de progressives modifications, dans toutes les parties de l'Europe.

Ces études un peu austères furent pendant ses dernières années sa distraction favorite dans les moments de liberté que lui laissait le soin des affaires de la compagnie d'Orléans; avec elles il oubliait la fatigne d'incessants projets de remaniement des conventions qui l'avaient constituée, et les soucis qu'auraient pu occasionner à un esprit moins perspicace et moins confiant dans la raison de ceux qui détiennent les pouvoirs publics les jalouses attaques dont elle était l'objet. Sa vue baissait avec une menaçante régularité; il s'inquiétait d'une affection qui allait lui enlever son travail de prédilection et lui donner un nouveau point de ressemblance avec son ami des premières années. Les dimensions, la forme, la netteté des caractères sanscrits

rendaient encore possible pour sa vue affaiblie la lecture du Baga Vadghita, dont, bientôt, il se vit réduit à réciter les strophes comme il récitait les chants du vieil Homère aux familiers qu'attirait dans sa demeure une avenante et cordiale hospitalité.

Ceux qui ont eu la bonne fortune d'être acueillis dans son intimité n'oublieront pas le charme de ses soirées qu'il savait, au gré de ses hôtes, rendre instructives et sérieuses ou joyeuses et plaisantes, suivant qu'ils lui demandaient d'évoquer à leur profit tel ou tel de ses souvenirs toujours précis et vivaces sur les hommes et les choses du présent et du passé; ils n'oublieront pas cette aimable bonhomie, pétrie d'esprit gaulois, cette bienveillance sans banalité, ce caractère égal n'ayant jamais ni malice ni arrière-pensée. Il ne fallait pas le voir longtemps pour s'assurer qu'il savait tout, non pas de cette science superficielle que les Revues préparent et résument à l'usage des gens du monde, mais d'un savoir durable et profond, plus désireux de se dissimuler que d'éblouir, mais qui ne demandait qu'à s'ouvrir au premier appel de ses interlocuteurs.

Arrivé enfin au terme d'une longue vie grâce à une santé robuste sur laquelle la maladie n'avait jamais eu de prise, jouissant en paix du prix de ses travaux, pouvant comparer avec orgueil, s'il eût été accessible à un pareil sentiment, l'humilité de son point de départ et l'élévation du but qu'il s'était dès lors assigné et que de persistants efforts lui avaient fait atteindre, il s'éteignit doucement en chrétien le 26 janvier 1882. Il avait atteint sa soixante-dix-neuvième année.

Il est utile et salutaire de conserver le souvenir d'existences aussi bien remplies. C'était pour moi un devoir de pieux respect et d'affectueuse reconnaissance que de rappeler à la mémoire de ses contemporains, de faire connaître à ceux qui ne l'ont pas approché, l'un des ingénieurs qui ont jeté le plus d'éclat sur le corps des Ponts

et Chaussées, et dont il doit avec le plus de soin conserver la mémoire; car ils sont rares ceux à qui Dieu répartit aussi également et dispense d'une main aussi libérale toutes les qualités qui constituent l'intelligence et la raison.

Février 1883.

(N° 24)

NOTE

SUR LES PONTS MÉTALLIQUES

DU

CHEMIN DE FER DE GRANDE CEINTURE DE PARIS

Par M. GEOFFROY, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

EXPOSÉ.

La partie du chemin de fer de Grande-Ceinture, comprise entre l'Étang-la-Ville et Noisy-le-Sec, puis entre Juvisy et Palaiseau, dont j'ai été chargé de faire les études et la construction, de 1876 à 1883, sous les ordres de M. Arnaud, directeur de la Compagnie, comportait pour une longueur de 53 kilomètres, 237 ouvrages d'art, dont 185 en maçonnerie et 52 ponts avec tabliers métalliques.

Sur la section comprise entre Palaiseau et l'Étang-la-Ville, dont les études et la construction ont été faites par M. Krafft, Ingénieur des Ponts et Chaussées, il y avait 49 ouvrages en maçonnerie et 8 ponts avec tabliers métalliques.

Il y a donc en totalité sur le chemin de fer de Grande-Ceinture, 294 ouvrages d'art, parmi lesquels on en compte 234 en maçonnerie, dont je ne parlerai pas ici, et 60 ponts avec tabliers métalliques, répartis sur une longueur totale de 78 kilomètres.

Parmi ces derniers, 13 ouvrages ont été exécutés conformément aux types de la Compagnie. Tous les autres, au nombre de 47, ont dû, en raison des sujétions qu'ils offraient, être établis d'après des projets spéciaux.

Je ne donnerai ci-après de description détaillée que pour les ouvrages les plus importants; je ferai connaître pour chacun d'eux les principales dimensions, les poids et prix de revient, ainsi que les avantages ou les inconvénients que chaque tablier présente par rapport à d'autres tabliers établis suivant des systèmes différents.

Quant aux ouvrages de moindre importance, qui ne présentent qu'un intérêt secondaire ou qui ont été construits suivant des types dont la description aura déjà été donnée, je me bornerai à résumer sous forme de tableaux leurs principales dimensions, leurs poids et prix de revient.

C'est surtout entre Épinay-sur-Seine et Noisy-le-Sec que se trouvent les ouvrages les plus importants. Sur cette partie, en effet, le chemin de fer se rapproche très près de Paris, dont il n'est distant que de 6 kilomètres en moyenne, et rencontre toutes les grandes routes qui y convergent, des voies ferrées, des gares de chemin de fer, etc., sur lesquelles il a fallu construire des ponts d'assez grande ouverture. D'autre part, soit à cause des conditions topographiques ou des exigences du service militaire, soit pour réduire l'importance des remblais aux abords, soit enfin pour éviter d'enterrer des constructions, des usines ou des propriétés de grande valeur, on a été forcé de réduire la hauteur des ouvrages et, par suite, de donner aux tabliers métalliques une épaisseur extrêmement réduite. Ces tabliers ont donc été projetés uniquement à ce point de vue, de franchir la plus grande ouverture possible avec le minimum d'épaisseur. Malgré cela, on pourra remarquer que la plupart d'entre eux sont établis dans des conditions de très grande légèreté, tant sous le rapport de l'aspect architectural que sous le rapport du poids réel de la charpente métallique qui les constitue.

Pour ces différents motifs, les types de ces tabliers ont été reproduits depuis, par plusieurs ingénieurs; ils peuvent l'être encore dans l'avenir, lorsqu'on se trouvera dans des

conditions analogues à celles où je me suis trouvé, et c'est dans ce but que j'ai cru devoir rédiger la présente note, qui pourra être utile d'ailleurs dans les études d'avant-projet d'un tracé de chemin de fer (*).

Je n'ai pas cru devoir reproduire les calculs de résistance des différents tabliers; je me bornerai à dire que ces calculs ont été faits d'après la méthode de MM. Bresse et Collignon pour les ponts à poutres droites, et d'après la méthode que M. Albaret a fait connaître dans les *Annales* de 1870, pour les arcs en tôle à tympans rigides.

Dans le cours de la présente note, on a divisé les ouvrages en passages inférieurs, ou ponts sous rails, et passages supérieurs, ou ponts-routes, et dans chacune de ces deux grandes divisions, on les a classés par types, en commençant par ceux présentant le plus d'intérêt.

Quelques indications préliminaires sont encore nécessaires pour l'intelligence des renseignements qui suivent :

« Pour les ouvrages d'art désignés sous les n°s 38, 45 et 55, la partie métallique a été établie au prix de 49^f,50 les 100 kilogrammes pour les fers et de 32 francs les 100 kilogrammes pour les fontes.

« Pour les ouvrages d'art désignés sous les n°s 12, 14, 29, 30 et 44, la partie métallique a été établie au prix de 48^f,50 les 100 kilogrammes pour les fers et de 32 francs les 100 kilogrammes pour les fontes.

« Pour tous les autres ouvrages d'art, la partie métallique a été établie au prix de 39 francs les 100 kilogrammes pour les fers et de 26 francs les 100 kilogrammes pour les fontes.

« Les bois de chêne pour platelages, longrines, etc., ont été payés 130 francs le mètre cube.

(*) Il n'est pas question dans cette note, du viaduc du Val Saint-Léger qui a fait l'objet d'un article spécial dans les *Annales des Ponts et Chaussées* (Novembre 1882).

« Les prix ci-dessus comprennent la fourniture, la pose et la peinture.

« Par *épaisseur du tablier*, on entend, pour les passages inférieurs, la distance verticale comprise entre le dessus du rail et le dessous des poutres, et pour les passages supérieurs, la distance verticale comprise entre le dessus de la chaussée et le dessous des poutres.

« Les *poids* et *prix de chaque tablier*, par mètre courant, ont été établis en divisant respectivement le poids et le prix total de ce tablier (fers et fontes des colonnes et sabots) par la longueur totale des poutres.

« Les *poids par mètre courant d'ouverture* ont été établis en divisant le poids total de la partie métallique par la distance comprise entre les culées. (Pour les ponts biais, cette distance a été mesurée suivant l'ouverture biaise.)

« Les *prix par mètre carré de tablier* ont été calculés en répartissant le prix total de chaque tablier sur sa surface réelle, c'est-à-dire sur celle que l'on obtient en multipliant la longueur totale des poutres par la distance entre les garde-corps.

« Dans les *prix par mètre courant* et par *mètre carre de tablier métallique* (passages inférieurs), on a tenu compte de la valeur des platelages et des longrines en bois de chêne sur lesquelles sont fixés les rails.

« Dans les *prix des ouvrages par mètre courant de portée*, on a divisé le prix total de chaque ouvrage par la distance comprise entre les points d'appui extrêmes du tablier, mesurée suivant l'axe des poutres ou des arcs. »

PASSAGES INFÉRIEURS

Type A.

Dans ce système, chaque rail est soutenu directement par une poutre longitudinale. Les entretoises ne servent qu'à relier ces poutres entre elles. Le platelage est en bois de chêne.

OUVRAGE N° 1.

PASSAGE INFÉRIEUR SUR LA VOIE ROGER.
(Pl. 13, *fig.* 1.)

C'est un des types ordinaires de la Compagnie, qui n'est susceptible d'être employé que lorsqu'on dispose d'une hauteur suffisante entre le dessus des rails et le dessous des poutres.

Ce pont est droit. Il est à une seule travée de 6 mètres de portée.

Le tablier, dont l'épaisseur est de $0^m,78$, est composé de six poutres longitudinales de 7 mètres de longueur, dont quatre poutres sous rails et deux poutres sous trottoirs.

Les poutres sous rails ont $0^m,464$ de hauteur hors cornières, et sont formées d'une âme de $0^m,010$, de cornières de $\frac{70 \times 70}{10}$ et d'une semelle de $0^m,27$ de largeur sur 0,018 d'épaisseur.

Les poutres sous trottoirs ont $0^m,50$ de hauteur; elles sont formées d'une âme de $0^m,005$, et de cornières de $\frac{70 \times 70}{7}$.

Ces six poutres sont réunies entre elles par des entre-

toises de $0^m,32$ de hauteur, formées d'une âme de $0^m,005$ d'épaisseur et de cornières de $\frac{60 \times 60}{7}$.

La partie des trottoirs en encorbellement est supportée par des consoles espacées de $1^m,60$ d'axe en axe; sur la partie supérieure de ces consoles, repose une petite poutrelle de $0^m,25$ de hauteur, régnant d'un bout à l'autre de l'ouvrage et contre laquelle sont fixés, au moyen de boulons, les montants du garde-corps.

Le platelage est formé de bois de chêne de $0^m,06$ d'épaisseur, placés transversalement au tablier; il est interrompu de distance en distance, par de fortes traverses en chêne espacées de $0^m,915$ d'axe en axe, qui règnent sur toute la largeur comprise entre les garde-corps. C'est sur cette traverse que sont fixés, au moyen de tirefonds, les rails de la voie.

Ce platelage doit être recouvert d'une couche de ballast pour être protégé du feu des machines, ce qui augmente le poids propre du tablier. Il demande en outre à être assez fréquemment renouvelé; de ce fait, il revient plus cher que les platelages en tôle striée, dont la durée est égale à celle du tablier lui-même. Ce dernier système présente en outre cet autre avantage de former un contreventement horizontal très énergique et d'assurer ainsi une solidarité parfaite entre toutes les pièces composant la charpente métallique. On devra donc employer de préférence le type adopté pour les ouvrages nos 10, 11 et 12, ainsi qu'il est dit dans les conclusions qui font suite à cette note.

Le poids du tablier métallique est de 7 700 kilogrammes; la longueur totale des poutres étant de 7 mètres et l'ouverture entre les culées, de 6 mètres, le poids par mètre courant de tablier est de 1 100 kilogrammes, et par mètre courant d'ouverture de 1 183 kilogrammes.

Les maçonneries des culées ont coûté 12 000 francs et

la partie métallique 3 810 francs. Le prix total de l'ouvrage est donc de 15 810 francs, soit par mètre courant de portée 2 635 francs.

Il résulte des renseignements qui précèdent que la partie métallique revient par mètre courant et pour les deux voies dont se compose le tablier à 544 francs, et par mètre carré de surface couverte à 67 francs.

Épreuves. — Les épreuves de ce tablier, ainsi que de tous ceux compris dans la présente note, ont été exécutées conformément aux prescriptions de la circulaire ministérielle du 9 juillet 1877.

Sous l'influence des charges d'épreuves, les flèches constatées ont été de (*) :

	POIDS MORT.	POIDS ROULANT.
	m.	m.
Poutre n. 1 sous rails.	0,005	0,0035
— n. 2 —	0,0035	0,004
— n. 3 —	0,0035	0,0035
— n. 4 —	0,004	0,0025

OUVRAGE N° 2.

PONT SUR LE CROULD AVEC PASSERELLE DE 3 MÈTRES DE LARGEUR.

Ce pont a été établi suivant le type adopté pour l'ouvrage n° 1, à cette différence près, qu'une passerelle de 3 mètres

(*) Ce sont les flèches maxima qui ont été indiquées dans ce tableau.

Après l'enlèvement des charges, les poutres ont repris leur position primitive.

Ces observations sont applicables à tous les tabliers métalliques faisant l'objet de la présente note.

Il y a lieu de remarquer que pendant les épreuves des tabliers, les flèches prises sous l'influence des charges, n'ont jamais augmenté, quel que soit le temps pendant lequel ces charges séjournaient sur les tabliers.

Ce fait tient à ce que préalablement aux épreuves, les tabliers avaient supporté le passage des trains de ballast pendant près d'une année.

de largeur a été accolée au tablier métallique supportant les voies.

Le pont est biais; il est à une seule travée. L'ouvertur droite, c'est-à-dire la distance normale comprise entre les culées est de 5 mètres. L'ouverture biaise est de $5^m,08$.

Le tablier, dont l'épaisseur est de $0^m,73$, se compose de sept poutres longitudinales de 6 mètres de longueur et de $5^m,20$ de portée, dont quatre poutres supportant directement les rails, deux poutres portant la passerelle, et une petite poutre de rive supportant le trottoir opposé à la passerelle.

Les poutres sous rails ont $0^m,426$ de hauteur; elles sont formées d'une âme de $0^m,009$, de cornières de $\frac{70 \times 70}{10}$, d'une semelle inférieure de $0^m,250$ de largeur et d'une semelle supérieure de $0^m,300$ sur $0^m,012$ d'épaisseur.

Les poutres supportant la chaussée présentent une hauteur de $0^m,600$; elles sont formées d'une âme de 0,008 d'épaisseur et de cornières de $\frac{90 \times 90}{10}$.

Quant à la petite poutre sous trottoir, sa hauteur est de $0^m,450$; elle est formée d'une âme de $0^m,007$ d'épaisseur et de cornières de $\frac{70 \times 70}{8}$.

En ce qui concerne le tablier métallique supportant les voies, toutes les autres dispositions adoptées pour l'ouvrage n° 1 et précédemment décrites, ont été reproduites pour l'ouvrage n° 2.

Quant à la passerelle, les deux poutres qui la composent, et dont les dimensions ont été données ci-dessus, sont écartées d'axe en axe de $2^m,938$ et réunies par des entretoises espacées elles-mêmes de $1^m,40$.

La largeur de la chaussée est de $2^m,30$; celle de chacun des trottoirs de $0^m,319$.

Les entretoises ont $0^m,350$ de hauteur; elles sont formées

d'une âme de $0^m,007$ d'épaisseur et de cornières de $\frac{60 \times 60}{7}$.

Des voûtes en briques de $0^m,11$ d'épaisseur, dont les naissances reposent sur les cornières inférieures des entretoises, supportent, par l'intermédiaire d'une chape en asphalte de $0^m,02$ d'épaisseur, une chaussée empierrée de $0^m,20$.

Les trottoirs sont constitués par des bordures en grès reposant sur les voûtes en briques et s'appuyant contre les cornières supérieures des poutres.

Le poids du tablier métallique est de 9 000 kilogrammes. La longueur totale des poutres étant de 6 mètres et l'ouverture biaise entre les culées de $5^m,008$, le poids par mètre courant de tablier (y compris les deux voies et la passerelle) est de 1 500 kilogrammes, et par mètre courant d'ouverture de 1 797 kilogrammes.

Les maçonneries des culées ont coûté 27 000 francs. Ce prix très élevé tient à ce que ces maçonneries ont été construites en vue de permettre l'établissement d'un barrage pour inonder la vallée. Les fondations ont été très coûteuses, en raison de la différence éventuelle de hauteur d'eau à l'amont et à l'aval et de la mauvaise nature du terrain.

La partie métallique a coûté 4 500 francs.

Le prix total de l'ouvrage est donc de 31 500 francs, soit par mètre courant de portée 6 057 francs.

Il résulte des renseignements qui précèdent, que la partie métallique revient par mètre courant (y compris les deux voies et la passerelle) à 750 francs, et par mètre carré de surface couverte à 68 francs.

Épreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves, les flèches maxima constatées ont été de :

	POIDS MORT.	POIDS ROULANT.
	m.	m.
Poutre n. 1 sous rails.	0,0025	0,003
— n. 2 —	0,0035	0,004
— n. 3 —	0,003	0,004
— n. 4 —	0,004	0,003

Sept autres ouvrages présentant des portées et des épaisseurs de tabliers différentes, ont été établis suivant le type A. On n'en fera pas la description, parce qu'ils rappellent par leur mode de construction, leurs détails et leurs assemblages, les deux tabliers précédents. On se bornera seulement à donner leurs principales dimensions, leurs poids et leurs prix de revient. Ces renseignements permettront d'établir des comparaisons intéressantes avec d'autres ouvrages présentant les mêmes ouvertures, mais construits suivant des systèmes différents.

N° 3. — PASSAGE INFÉRIEUR DROIT SUR LE CHEMIN DES GRANDS-SAULES.

(Type ordinaire de la Compagnie.)

Nombre de travées.	1	Hauteur des poutres. . . .	0m,26
Portée de la travée. . . .	3m,00	Nombre de voies.	2
Nombre de poutres sous rails.	4	Epaisseur du tablier. . . .	0m,51

Poids du tablier métallique. . . . . 2 570 kilog.

soit par mètre courant de tablier $\frac{2\,570}{3,9}$ =. . . 658 —

et par mètre courant d'ouverture $\frac{2\,570}{3}$ =. . . 857 —

Prix des culées.	16 000 francs
Prix du tablier métallique.	1 500 —
Prix total de l'ouvrage.	17 500 francs
soit par mètre courant de portée.	5 833 —

La partie métallique revient par mètre courant à. . . . . 384 francs
et par mètre carré de surface couverte à. . . . . 47 —

ÉPREUVES

	Poutre n. 1	Poutre n. 2	Poutre n. 3	Poutre n. 4
Poids mort.	»	»	»	»
Poids roulant.	0,002	0,0035	0,0040	0,0035

N° 4. — PASSAGE INFÉRIEUR DROIT SUR LA BIÈVRE.

(Type de la Compagnie.)

Nombre de travées.	1	Hauteur des poutres. . . .	0m,26
Portée de la travée. . . .	3m,00	Nombre de voies.	2
Nombre de poutres sous rails.	4	Epaisseur du tablier. . . .	0m,51

Poids du tablier métallique. . . . . 2 540 kilog.

soit par mètre courant de tablier $\frac{2\,540}{3,90}$ =. . . 651 —

et par mètre courant d'ouverture $\frac{2\,540}{3}$ =. . . 846 —

Prix des culées. . . . . 4 320 francs
Prix du tablier métallique. . . . . 1 480 —

Prix total de l'ouvrage. . . . . 5 800 francs
soit par mètre courant de portée. . . . . . . 1 933 —

La partie métallique revient par mètre courant à. . . . . 379 francs
et par mètre carré de surface couverte à. . . . . 46 —

ÉPREUVES.

	Poutre n. 1	Poutre n. 2	Poutre n. 3	Poutre n. 4
Poids mort.	0,002	0,002	0,0015	0,0015
Poids roulant.	0,003	0,003	0,002	0,002

N° 5. — PASSAGE INFÉRIEUR BIAIS SUR LA BIÈVRE.

(Type ordinaire de la Compagnie.) Ouverture normale 3m,00.

Nombre de travées.	1	Hauteur des poutres. . . .	0m,26
Portée de la travée. . . .	3m,07	Nombre de voies.	2
Nombre de poutres sous rails.	4	Epaisseur du tablier. . . .	0m,51

Poids du tablier métallique. . . . . 3 300 kilog.

soit par mètre courant de tablier $\frac{3\,300}{4}$ =. . . 825 —

et par mètre courant d'ouverture $\frac{3\,300}{3,07}$ =. . . 1 074 —

Prix des culées. . . . . 3 250 francs
Prix du tablier métallique. . . . . 1 850 —

Prix total de l'ouvrage. . . . . 5 100 francs
soit par mètre courant de portée. . . . . . . 1 700 —

La partie métallique revient par mètre courant à. . . . . 462 francs
et par mètre carré de surface couverte à. . . . . 57 —

ÉPREUVES.

	Poutre n. 1	Poutre n. 2	Poutre n. 3	Poutre n. 4
Poids mort.	0,0015	0,0015	0,0020	0,0020
Poids roulant.	0,0025	0,0025	0,0032	0,0032

N° 6. — PASSAGE INFÉRIEUR DROIT SUR LA VOIE DES CHAMPS-GUÉRIN.

(Type ordinaire de la Compagnie.)

Nombre de travées	1	Hauteur des poutres	$0^m,38$
Portée de la travée	$4^m,00$	Nombre de voies	2
Nombre de poutres sous rails	4	Épaisseur du tablier	$0^m,68$

Poids du tablier métallique. . . . . 4 463 kilog.

soit par mètre courant de tablier $\frac{4\,463}{4,85}$ =. . . 920 —

et par mètre courant d'ouverture $\frac{4\,463}{4}$ =. . . 1 116 —

Prix des culées. . . . . 6 000 francs

Prix du tablier métallique. . . . . 2 500 —

Prix total de l'ouvrage. . . . . 8 500 francs

soit par mètre courant de portée. . . . . . . 2 075 —

La partie métallique revient par mètre courant à. . . . . 474 francs

et par mètre carré de surface couverte à. . . . . 58 —

ÉPREUVES.

	Poutre n. 1	Poutre n. 2	Poutre n. 3	Poutre n. 4
Poids mort	»	»	»	»
Poids roulant	0,0032	0,0022	»	0,0005

N° 7. — PONT BIAIS SUR LE ROUILLON.

(Type spécial.) Ouverture normale $4^m,00$

Nombre de travées	1	Hauteur des poutres	$0^m,464$
Portée de la travée	$5^m,40$	Nombre de voies	2
Nombre de poutres sous rails	4	Épaisseur du tablier	$0^m,79$

Poids du tablier métallique. . . . . 7 900 kilog.

soit par mètre courant de tablier $\frac{7\,900}{6,40}$ =. . . 1 234 —

et par mètre courant d'ouverture $\frac{7\,900}{5,011}$ =. . . 1 576 —

Prix des culées. . . . . 32 000 francs

Prix du tablier métallique. . . . . 3 900 —

Prix total de l'ouvrage. . . . . 35 900 francs

soit par mètre courant de tablier. . . . . . . 6 648 —

La partie métallique revient par mètre courant à. . . . . 609 francs

et par mètre carré de surface couverte à. . . . . 75 —

ÉPREUVES.

	Poutre n. 1	Poutre n. 2	Poutre n. 3	Poutre n. 4
Poids mort	0,002	0,002	0 0025	0,0025
Poids roulant	0,0015	0,0035	0'0035	0,0015

N° 8. — PASSAGE INFÉRIEUR DROIT DANS UNE PROPRIÉTÉ DE PORCHEFONTAINE.

Nombre de travées.	1	Hauteur des poutres. . . .	0m,51
Portée de la travée. . . .	6m,00	Nombre de voies.	2
Nombre de poutres sous rails.	4	Epaisseur du tablier. . . .	0m,83

Poids du tablier métallique. . . . . 8 000 kilog.

soit par mètre courant de tablier $\frac{8\,000}{7.10}$ =. . . 1 126 —

et par mètre courant d'ouverture $\frac{8\,000}{6}$ =. . . 1 333 —

Prix des culées. . . . . 24 000 francs
Prix du tablier métallique. . . . . 3 800 —

Prix total de l'ouvrage. . . . . 27 800 francs
soit par mètre courant de portée. . . . . . . 4 633 —

La partie métallique revient par mètre courant à. . . . . 533 francs
et par mètre carré de surface couverte à. . . . . 66 —

ÉPREUVES.

	Poutre n. 1	Poutre n. 2	Poutre n. 3	Poutre n. 4
Poids mort.	0,0035	0,0035	0,0035	0,0030
Poids roulant.	0,0030	0,0025	0,0035	0,0030

N° 9. — PASSAGE INFÉRIEUR BIAIS SUR UN CHEMIN PARTICULIER.

Ouverture normale 6m,00.

Nombre de travées.	1	Hauteur des poutres. . . .	0m,51
Portée de la travée. . . .	6m,74	Nombre de voies.	2
Nombre de poutres sous rails.	4	Epaisseur du tablier. . . .	0m,83

Poids du tablier métallique. . . . . 9 400 kilog.

soit par mètre courant de tablier $\frac{9\,400}{7.84}$ =. . . 1 198 —

et par mètre courant d'ouverture $\frac{9\,400}{6,56}$ =. . . 1 432 —

Prix des culées. . . . . 33 000 francs
Prix du tablier métallique. . . . . 4 600 —

Prix total de l'ouvrage. . . . . 37 600 francs
soit par mètre courant de portée. . . . . . . 5 580 —

La partie métallique revient par mètre courant à. . . . . 587 francs
et par mètre carré de surface couverte à. . . . . 72 —

ÉPREUVES.

	Poutre n. 1	Poutre n. 2	Poutre n. 3	Poutre n. 4
Poids mort.	0,0030	0,0035	0,0030	0,0035
Poids roulant.	0,0035	0,0035	0,0030	0,0030

Type A′.

Dans ce système, chaque rail est soutenu directement par une poutre longitudinale. Les entretoises ne servent qu'à relier ces poutres entre elles. Le platelage est en tôles striées.

OUVRAGE N° 10.

PASSAGE INFÉRIEUR SUR LE CHEMIN VICINAL N° 3, D'ÉPINAY A ENGHIEN.

Ce type, qui n'est susceptible d'être employé que lorsqu'on dispose d'une hauteur suffisante entre le dessus des rails et le dessous des poutres, ce qui est le cas pour l'ouvrage n° 10, puisque l'épaisseur du tablier est de 1 mètre, est un des plus avantageux, tant au point de vue de la construction qu'au point de vue de l'économie. La coupe transversale est analogue à celle de l'ouvrage n° 11 (Pl. 13, *fig.* 2).

Ce pont est biais; il est à une seule travée de 6 mètres d'ouverture droite et de $6^m,642$ d'ouverture biaise.

Le tablier se compose de quatre poutres longitudinales de $8^m,20$ de longueur et de 7 mètres de portée, réunies entre elles par des entretoises espacées de $1^m,50$ d'axe en axe.

Les poutres supportent directement les longrines sur lesquelles les rails sont fixés. Elles ont une hauteur de $0^m,650$ et sont formées d'une âme de $0^m,008$, de quatre cornières de $\frac{90 \times 90}{10}$ et d'une semelle de $0^m,300$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur.

Les entretoises qui réunissent les poutres entre elles sont formées de treillis en fer plat de $\frac{60}{9}$.

Les trottoirs sont en encorbellement et reposent sur des consoles espacées de $1^m,50$, réunies entre elles par un fer en U de $\frac{175 \times 60}{8 \times 10}$, sur lequel sont fixés les montants de garde-corps.

Le platelage est formé de tôles striées de $0^m,006$ d'épaisseur, non compris les stries, qui ont $0^m,002$, rivées sur tout leur pourtour à la charpente métallique qui les supporte.

Ce système de platelage présente différents avantages qui ont été exposés à propos de l'ouvrage n° 1, page 445.

Le poids du tablier métallique est de 13 400 kilogrammes. La longueur totale des poutres étant de $8^m,20$, et l'ouverture biaise entre les culées, de $6^m,642$, le poids par mètre courant de tablier est de 1634 kilogrammes, et par mètre courant d'ouverture, de 2 017 kilogrammes.

Les maçonneries des culées ont coûté 14 500 francs et la partie métallique 5 500 francs. Le prix total de l'ouvrage est donc de 20 000 francs, soit par mètre courant de portée 2 857 francs.

Il résulte de ce qui précède, que la partie métallique revient par mètre courant (et pour les deux voies dont se compose le tablier) à 670 francs, et par mètre carré de surface couverte à 82 francs.

Épreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves, les flèches constatées ont été de :

	POIDS MORT.	POIDS ROULANT.
	m.	m.
Poutre n. 1......	0,0045	0,0048
— n. 2......	0,003	0,0025
— n. 3......	0,003	0.002
— n. 4......	0,0025	0,0025

OUVRAGE N° 11.

PASSAGE INFÉRIEUR SUR LE RUISSEAU DE L'ÉTANG DE MONTMORENCY. (Pl. 13, *fig.* 2.)

Par suite de la hauteur dont on disposait entre le dessus des rails et le dessous des poutres ($0^m,95$), on a adopté pour cet ouvrage le même type de tablier que pour l'ouvrage précédent.

On se bornera donc à dire que pour une portée de 9 mètres la hauteur des poutres est de $0^m,60$ et que celles-ci sont formées d'une âme de $0^m,008$, de cornières de $\frac{90 \times 90}{12}$ et de semelles de $0^m,300$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur.

Toutes les autres dispositions de ce tablier sont les mêmes que les dispositions correspondantes de l'ouvrage n° 10.

Le poids du tablier métallique est de 19 200 kilogrammes. La longueur totale des poutres étant de $10^m,20$ et l'ouverture biaise entre les culées de $8^m,547$, le poids par mètre courant de tablier est de 1 882 kilogrammes, et par mètre courant d'ouverture biaise, de 2 246 kilogrammes.

Les maçonneries des culées ont coûté 21 000 francs et la partie métallique 7 700 francs.

Le prix total de l'ouvrage est donc de 28 700 francs, soit par mètre courant de portée 3 188 francs.

La partie métallique revient par mètre courant (et pour les deux voies dont se compose le tablier) à 754 francs, et par mètre carré de surface couverte à 93 francs.

Épreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves, les flèches constatées ont été de :

	POIDS MORT.	POIDS ROULANT.
	m.	m.
Poutre n. 1.......	0,0065	0,008
— n. 2.......	0,0055	0,007
— n. 3.......	0,0045	0,0045
— n. 4.......	0,0025	0,0045

OUVRAGE N° 12.

PASSAGE INFÉRIEUR SUR LA ROUTE NATIONALE N° 20, DE PARIS A TOULOUSE.

Ce pont est biais et à une seule travée. L'ouverture droite est de 11 mètres; l'ouverture biaise est de $11^{m},06$.

Par suite de la grande hauteur dont on disposait, on a pu donner $1^{m},50$ à l'épaisseur du tablier et placer directement au-dessus des poutres les longrines supportant la voie.

Ce tablier a donc été construit conformément au type adopté pour les ouvrages n°s 10 et 11, dont la description à déjà été donnée pages 453 et 455.

Les poutres, au nombre de quatre, présentent une hauteur de $1^{m},18$ et sont formées d'une âme pleine de $0^{m},008$ d'épaisseur, de cornières de $\frac{100 \times 100}{12}$, et d'une semelle de $0^{m},348$ de largeur sur $0^{m},010$ d'épaisseur.

Quant aux autres dispositions du tablier, ce sont les mêmes que celles adoptées pour les ouvrages n°s 10 et 11.

Le poids du tablier métallique est de 30 000 kilogrammes. La longueur totale des poutres étant de 13 mètres, et l'ouverture biaise entre les culées, de $11^{m},06$, le poids par mètre courant de tablier est de 2 307 kilogrammes, et par mètre courant d'ouverture, de 2 712 kilogrammes.

Les maçonneries des culées ont coûté 24 300 francs et la partie métallique 15 000 francs.

Le prix total de l'ouvrage est donc de 39 300 francs, soit par mètre courant de portée 3 387 francs.

La partie métallique revient par mètre courant (et pour les deux voies dont se compose le tablier) à 1 154 francs, et par mètre carré de surface couverte à 142 francs.

Epreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves, les flèches constatées ont été de :

	POIDS MORT.	POIDS ROULANT.
	m.	m.
Poutre n. 1........	0,005	0,005
— n. 2........	0 005	0,005
— n. 3........	0,005	0,005
— n. 4........	0,005	0,004

Type B.

Dans ce système, chaque rail est soutenu par deux poutres jumelles. Le platelage est en bois de chêne.

OUVRAGE N° 13.

PASSAGE INFÉRIEUR SUR LA RUELLE DES MARIVAUX.
(Pl. 13, *fig.* 3.)

C'est un des types ordinaires de la Compagnie, qui a le grand avantage, pour une ouverture de 4 mètres, de n'exiger qu'une épaisseur de tablier réduite à $0^m,37$.

En raison de cette faible épaisseur, chaque longrine est supportée par deux poutres jumelées.

Le tablier métallique se trouve ainsi composé de huit poutres longitudinales de $4^m,60$ de longueur, supportant la voie, et de deux autres petites poutres de rive présentant la même longueur et supportant les trottoirs.

Les poutres principales ont $0^m,33$ de hauteur ; elles sont

formées d'une âme de 0m,008 et de trois cornières de $\frac{70 \times 70}{12}$, dont une à la partie supérieure, renforcée par un fer plat posé de champ, de 0m,070 de hauteur sur 0m,013 d'épaisseur, et deux cornières à la partie inférieure.

Les poutres sous trottoirs ont 0m,23 de hauteur et sont formées d'une âme de 0m,008 et de cornières de $\frac{70 \times 70}{12}$.

Les deux poutres supportant chaque rail, sont espacées de 0m,400 d'axe en axe; elles sont réunies par de petites entretoises de 0m,09 de hauteur, qui supportent la longrine concurremment avec l'une des cornières inférieures des poutres. Ces entretoises, qui sont d'ailleurs espacées entre elles de 1m,35, sont formées de deux cornières assemblées de $\frac{70 \times 70}{7}$, opposées par les ailes, rivées à leurs parties supérieure et inférieure contre deux fers plats de 0m,230 de largeur, fixés eux-mêmes contre les poutres.

Les quatre couples de poutres jumelles sont réunis par des entretoises de 0m,16 de hauteur, formées d'une âme de 0m,005 et de cornières de $\frac{60 \times 60}{6}$. Ces entretoises supportent un platelage en bois de chêne de 0m,05 d'épaisseur que recouvre une légère couche de ballast de 0m,05.

Une partie des trottoirs est en encorbellement et se trouve supportée par des consoles espacées de 1m,35, réunies par une forte longrine en bois de chêne de 0m,300 de largeur sur 0m,22 de hauteur, sur laquelle sont fixés les montants de garde-corps.

Ce qui a été dit pour le platelage en bois à propos de l'ouvrage n° 1, page 445, est également applicable ici.

On devra donc adopter de préférence le type représenté par les ouvrages nos 16, 17, 18 et 19, dont le platelage est en tôles striées.

Le poids du tablier métallique est de 4 500 kilogrammes; la longueur totale des poutres étant de 4^{m},65 et l'ouverture entre les culées de 4 mètres, le poids par mètre courant de tablier est de 967 kilogrammes, et par mètre courant d'ouverture, de 1 125 kilogrammes.

Les maçonneries des culées ont coûté 15 300 francs et la partie métallique 2 150 francs.

Le prix total de l'ouvrage est donc de 17 450 francs, soit par mètre courant de portée 4 360 francs.

Il résulte des renseignements qui précèdent que la partie métallique revient par mètre courant (et pour les deux voies dont se compose le tablier) à 462 francs, et par mètre carré de surface couverte à 57 francs.

Épreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves, les flèches constatées ont été de :

	POIDS MORT.	POIDS ROULANT.
	m.	m.
Poutre n. 1......	0,003	0,0035
— n. 2......	0,0045	0,0045
— n. 3......	0,004	0,004
— n. 4......	0,004	0,004
— n. 5......	0,003	0,0035
— n. 6......	0,003	0,004
— n. 7......	0,003	0,003
— n. 8......	0,003	0,0025

Deux autres ouvrages ont été établis suivant le type B. Leurs dispositions étant semblables à celles de l'ouvrage n° 13 dont on vient de donner la description, on se bornera à faire connaître leurs principales dimensions, leurs poids et prix de revient.

N° 14. — PASSAGE INFÉRIEUR DROIT SUR UN CHEMIN RURAL.

(Type ordinaire de la Compagnie.) Ouverture normale $4^m,00$.

Nombre de travées.	1	Hauteur des poutres. . . .	$0^m,33$
Portée de la travée. . . .	$4^m,00$	Nombre de voies.	2
Nombre de poutres sous rails.	8	Épaisseur du tablier. . . .	$0^m,365$

Poids du tablier métallique. . . . . 4 600 kilog.

soit par mètre courant de tablier $\frac{4\,600}{4,65}$ =. . . 989 —

et par mètre courant d'ouverture $\frac{4\,600}{4}$ =. . . 1 150 —

Prix des culées. . . . . 12 800 francs
Prix du tablier métallique. . . . . 2 800 —

Prix total de l'ouvrage. . . . . 15 600 francs
soit par mètre courant de portée. . . . . 3 900 —

La partie métallique revient par mètre courant à. . . . . 602 francs
et par mètre carré de surface couverte à. . . . . 74 —

ÉPREUVES.

	Poutres n. 1-2	Poutres n. 3-4	Poutres n. 5-6	Poutres n. 7-8
Poids mort.	0,0035	0,0040	0,0030	0,0045
Poids roulant.. . . .	0,0030	0,0040	0,0025	0,0040

N° 15. — PASSAGE INFÉRIEUR DROIT SUR UN CHEMIN DE CHASSE.

(Type ordinaire de la Compagnie.)

Nombre de travées.	1	Hauteur des poutres. . . .	$0^m,33$
Portée de la travée. . . .	$4^m,00$	Nombre de voies.	3
Nombre de poutres sous rails.	12	Épaisseur du tablier. . . .	$0^m,365$

Poids du tablier métallique. . . . . 6 500 kilog.

Soit par mètre courant de tablier $\frac{6\,500}{4,65}$ =. . . 1 397 —

et par mètre courant d'ouverture $\frac{6\,500}{4}$ =. . . 1 625 —

Prix des culées. . . . . 12 100 francs
Prix du tablier métallique. . . . . 3 100 —

Prix total de l'ouvrage. . . . . 15 200 francs
soit par mètre courant de portée. . . . . . . 3 800 —

La partie métallique revient par mètre courant à. . . . . 666 francs
et par mètre carré de surface couverte à. . . . . 51 —

ÉPREUVES.

	Poutres n. 1-2	Poutres n. 3-4	Poutres n. 5-6	Poutres n. 7-8	Poutres n. 9-10	Poutres n. 11-12
Poids mort.	0,0025	0,0030	0,0030	0,0032	0,0030	0,0022
Poids roulant.. . .	»	»	0,0032	0,0040	0,0027	0,0022

Type B'.

Dans ce système, chaque rail est soutenu par deux poutres jumelles. Le platelage est en tôles striees.

OUVRAGE N° 16.

PASSAGE INFÉRIEUR SUR L'AVENUE DU CHEMIN DE FER.

On a adopté pour cet ouvrage le type à poutres jumelles, par suite du peu de hauteur dont on disposait ($0^m,52$) entre le dessus des rails et le dessous des poutres.

Ce pont est biais. Il est à une seule travée de 6 mètres d'ouverture droite et de $7^m,08$ d'ouverture biaise.

Le tablier se compose de 8 poutres longitudinales de $9^m,40$ de longueur et de $8^m,60$ de portée.

Les poutres ont $0^m,450$ de hauteur; elles sont formées d'une âme de $0^m,008$ d'épaisseur, de cornières de $\frac{80 \times 80}{11}$ et de semelles de $0^m,300$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur. Les deux poutres supportant chaque rail sont espacées de $0^m,76$ d'axe en axe et réunies par de petites entretoises pleines, formées d'une âme de $0^m,008$ et de cornières de $\frac{60 \times 60}{7}$. Ces petites entretoises, sur lesquelles reposent les longrines supportant les rails, sont espacées entre elles de $0^m,90$ d'axe en axe.

Les quatre couples de poutres jumelles sont réunis sous les voies par des entretoises espacées entre elles de $1^m,80$, formées de cornières et de fers plats, et sous l'entre-voie, par des entretoises formées d'une âme pleine de $0^m,200$ de hauteur sur $0^m,008$ d'épaisseur et de cornières de $\frac{60 \times 60}{7}$.

Les trottoirs sont supportés par des consoles en encorbellement espacées de $1^m,80$ d'axe en axe et réunies entre elles par des fers en U de $\frac{175 \times 60}{8 \times 10}$, sur lesquels sont fixés les montants de garde-corps.

Le platelage du tablier est entièrement formé de tôles striées de $0^m,006$ d'épaisseur, rivées sur tout leur pourtour à la charpente métallique qui les supporte.

Le poids du tablier métallique est de 20 000 kilogrammes; la longueur totale des poutres étant de $9^m,40$ et l'ouverture biaise entre les culées de $7^m,98$, le poids par mètre courant de tablier est de 2 127 kilogrammes, et par mètre courant d'ouverture, 2 506 kilogrammes.

Les maçonneries des culées ont coûté 25 000 francs et la partie métallique 8 000 francs.

Le prix total de l'ouvrage est donc de 33 000 francs. soit par mètre courant de portée 3 837 francs.

D'après ce qui précède, on voit que la partie métallique revient par mètre courant (et pour les deux voies dont se compose le tablier) à 851 francs, et par mètre carré de surface couverte à 105 francs.

Épreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves, les flèches constatées ont été pour l'une des moitiés du tablier :

	POIDS MORT.	POIDS ROULANT.
	m.	m.
Poutre n. 1.......	0,0045	0,005
— n. 2.......	0,005	0,006
— n. 5.......	0,005	0,0065
— n. 4.......	0,0045	0,0075

OUVRAGE N° 17.

PASSAGE INFÉRIEUR SUR LA ROUTE NATIONALE N° 192, DE PARIS A PONTOISE.

(Pl. 13, *fig.* 4.)

Cet ouvrage présente les mêmes dispositions que le précédent. Les entretoises d'entre-voie seules diffèrent; au lieu d'être formées d'une âme pleine, elles sont composées de treillis en cornières et fers plats.

La portée de la travée est de $9^m,80$. Les poutres ont $0^m,500$ de hauteur, soit le $\frac{1}{20}$ de la portée (*); elles sont formées d'une âme pleine de $0^m,008$ d'épaisseur, de cornières de $\frac{80 \times 80}{11}$ et de semelles de $0^m,250$ de largeur sur $0,^m010$ d'épaisseur.

Toutes les autres dispositions sont communes pour les deux ouvrages.

Le poids du tablier métallique est de 28 358 kilogrammes; la longueur totale des poutres étant de 11^m20 et l'ouverture biaise entre les culées, de $9^m,588$, le poids par mètre courant de tablier est de 2 582 kilogrammes, et par mètre courant d'ouverture de 2 957 kilogrammes.

Les maçonneries des culées ont coûté 17 000 francs et la partie métallique 11 100 francs.

Le prix total de l'ouvrage est donc de 28 100 francs, soit par mètre courant de portée 2 867 francs.

La partie métallique revient par mètre courant (et pour les deux voies dont se compose le tablier) à 991 francs, et par mètre carré de surface couverte, à 122 francs.

(*) On verra plus loin (ouvrage n° 18) qu'on a pu descendre encore au-dessous de cette limite et réduire au 1/27, le rapport entre la hauteur et la portée des poutres. Dans les conditions normales, ce rapport est habituellement de 1/10

Épreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves, les flèches constatées ont été de :

	POIDS MORT.	POIDS ROULANT.
	m.	m.
Poutre n. 1......	0,005	0,006
— n. 2......	0,005	0,006
— n. 3......	0,005	0,005
— n. 4......	0,0035	0,0055
— n. 5......	0,005	0,0055
— n. 6......	0,005	0,005
— n. 7......	0,005	0,0055
— n. 8......	0,0045	0,006

OUVRAGE N° 18.

PASSAGE INFÉRIEUR SUR LA RUE SAINT-DENIS, A BOBIGNY.

(Pl. 13, *fig.* 5.)

Comme pour les précédents ouvrages, on a adopté le type à poutres jumelles, par suite du peu de hauteur dont on disposait ($0^m,51$) entre le dessus des rails et le dessous des poutres.

Ce pont est biais. Il est à une seule travée de 10 mètres d'ouverture droite et de $10^m,407$ d'ouverture biaise.

Le tablier se compose de huit poutres longitudinales de $11^m,40$ de longueur et de $10^m,60$ de portée. Ces poutres ont $0^m,40$ de hauteur, c'est-à-dire $\frac{1}{27}$ seulement de la portée. Elles sont formées d'une âme pleine de $0^m,008$ d'épaisseur, de cornières de $\frac{80 \times 80}{10}$ et de semelles de $0^m,30$ de largeur, sur $0^m,01$ d'épaisseur.

Les deux poutres supportant chaque rail sont espacées entre elles de $0^m,650$ et réunies par de petites entretoises distantes de $0^m,90$ d'axe en axe, supportant les longrines en chêne sur lesquelles les rails sont fixés,

Les quatre couples de poutres jumelles sont réunis entre eux par des entretoises à treillis, formées de cornières et de fers plats.

Les trottoirs sont supportés par des consoles espacées de 1^m,80 d'axe en axe et réunies entre elles par des fers en U de $\frac{140 \times 52}{8 \times 10}$, sur lesquels sont fixés les montants de garde-corps.

Quant au platelage du tablier, il est constitué par des tôles striées de 0^m,006 d'épaisseur, rivées sur tout leur pourtour à la charpente métallique qui les supporte.

Le poids du tablier métallique est de 30 000 kilogrammes. La longueur totale des poutres étant de 11^m,40, et l'ouverture biaise entre les culées de 10^m,407, le poids par mètre courant de tablier est de 2 631 kilogrammes, et par mètre courant d'ouverture, 2 882 kilogrammes.

Les maçonneries des culées ont coûté 13 000 francs et la partie métallique 14 000 francs.

Le prix total de l'ouvrage est donc de 27 000 francs, soit par mètre courant de portée, 2 547 francs.

La partie métallique revient par mètre courant (et pour les deux voies dont se compose le tablier) à 1 228 francs, et par mètre carré de surface couverte à 152 francs.

Épreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves, les flèches constatées ont été de :

	POIDS MORT.	POIDS ROULANT.
	m.	m.
Poutre n. 1......	0,0085	0,008
— n. 2......	0,008	0,0095
— n. 3......	0,0075	0,009
— n. 4......	0,0085	0,008
— n. 5......	0,0095	0,010
— n. 6......	0,009	0,0105
— n. 7......	0,009	0,010
— n. 8......	0,0085	0,010

OUVRAGE N° 19.

PASSAGE INFÉRIEUR SUR LA ROUTE NATIONALE N° 14 (annexe).

Cet ouvrage est établi suivant le même type que le précédent (ouvrage n° 18)

Il est biais et à une seule travée de 9 mètres d'ouverture droite et de $10^m,612$ d'ouverture biaise.

Le tablier, dont l'épaisseur n'est que de $0^m,65$, se compose de huit poutres longitudinales de $12^m,20$ de longueur et de 11 mètres de portée.

Ces poutres ont $0^m,550$ de hauteur, soit $\frac{1}{20}$ de la portée. Elles sont formées d'une âme pleine de $0^m,008$ d'épaisseur, de cornières de $\frac{80 \times 80}{8}$, et de semelles de $0^m,25$ de largeur sur $0^m,10$ d'épaisseur.

Les deux poutres supportant chaque rail sont espacées de $0^m,60$ d'axe en axe, et réunies par de petites entretoises pleines formées d'une âme $\frac{250}{7}$ et de cornières de $\frac{80 \times 80}{8}$. Ces petites entretoises, sur lesquelles reposent les longrines supportant les rails, sont espacées entre elles de $0^m,90$ d'axe en axe.

Toutes les autres dispositions adoptées pour l'ouvrage n° 18 ont été reproduites ici, si ce n'est que les entretoises reliant ensemble les couples de poutres jumelles, au lieu de présenter la hauteur même des poutres et d'être formées de treillis en fer plats, sont au contraire à âme pleine et n'ont qu'une hauteur de $0^m,25$.

Cette disposition est plus économique que celle adoptée pour l'ouvrage précédent, puisque le poids par mètre courant n'est que de 2 466 kilogrammes au lieu de 2 532, quoique la portée soit de $1^m,20$ plus grande.

Cependant, au point de vue de la construction, l'entretoisement du tablier n° 18 est préférable, et il conviendra de l'adopter, malgré la légère augmentation de poids qu'il entraîne.

Le poids du tablier métallique est de 30 100 kilogrammes. La longueur totale des poutres étant de $12^m,20$, et l'ouverture biaise entre les culées de 10 612 kilogrammes, le poids par mètre courant de tablier est, ainsi qu'il vient d'être dit, de 2 466 kilogrammes, et par mètre courant d'ouverture, de 2 836 kilogrammes.

Les maçonneries des culées ont coûté 15 000 francs et la partie métallique 12 000 francs.

Le prix total de l'ouvrage est donc de 27 000 francs, soit par mètre courant de portée, 2 455 francs.

La partie métallique revient par mètre courant (et pour les deux voies dont se compose le tablier) à 983 francs, et par mètre carré de surface couverte à 121 francs.

Épreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves. les flèches constatées ont été de :

	POIDS MORT.	POIDS ROULANT.
	m.	m.
Poutre n. 1.......	0,007	0,007
— n. 2.......	0,0065	0,0065
— n. 3.......	0,007	0,0075
— n. 4.......	0,007	0,0065
— n. 5.......	0,0045	0,0065
— n. 6.......	0,007	0,006
— n. 7.......	0,0065	0,007
— n. 8.......	0,006	0,0075

Type C.

Dans ce système, chaque voie repose par l'intermédiaire d'entretoises, sur deux poutres droites *longitudinales très rapprochées des rails, dont elles ne sont distantes généralement que de* $0^m,30$. *Le dessus des poutres ne dépasse pas le niveau de la voie.*

OUVRAGE N° 20.

PASSAGE INFÉRIEUR SUR LE CHEMIN DE GRANDE COMMUNICATION N° 11.

Ce type paraît devoir être adopté toutes les fois que l'épaisseur du tablier dont on dispose n'est pas suffisante pour permettre l'emploi du type A ou A', sans cependant être trop faible pour nécessiter l'emploi du type B ou B'. Tel est le cas de l'ouvrage n° 20, dont l'épaisseur de tablier est de $0^m,60$.

Ce pont est biais; il est à une seule travée de 7 mètres d'ouverture droite et de $7^m,687$ d'ouverture biaise.

Le tablier métallique se compose de quatre poutres longitudinales de 9 mètres de longueur et de 8 mètres de portée, espacées entre elles de $2^m,16$ sous les voies et réunies par des entretoises espacées elles-mêmes de $0^m,90$ sous les voies, et de $1^m,80$ sous l'entrevoie.

Les poutres longitudinales ont $0^m,500$ de hauteur ; elles sont formées d'une âme de $0^m,008$ d'épaisseur, de cornières de $\frac{90 \times 90}{10}$ et de semelles de $0^m,300$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur.

Les entretoises placées sous les voies et supportant les longrines sur lesquelles sont fixés les rails, ont $0^m,250$ de

hauteur et sont formées d'une âme de $0^m,007$ et de quatre cornières de $\frac{80 \times 80}{8}$

Quant aux entretoises d'entre-voie, elles sont constituées par un treillis composé de fers plats.

Les trottoirs en encorbellement sont supportés par des consoles espacées de $1^m,80$ d'axe en axe et réunies par des fers en U de $\frac{175 \times 60}{8 \times 10}$ sur lesquels sont fixés les montants de garde-corps.

Le platelage est entièrement formé de tôles striées de $0^m,006$ d'épaisseur, rivées sur tout leur pourtour à la charpente métallique qui les supporte.

Le poids du tablier métallique est de 17 050 kilogrammes. La longueur totale des poutres étant de 9 mètres, et l'ouverture biaise entre les culées de $7^m,687$, le poids par mètre courant de tablier est de 1 894 kilogrammes, et par mètre courant d'ouverture, de 2 218 kilogrammes.

Les maçonneries des culées ont coûté 15 000 francs et la partie métallique 7 000 francs.

Le prix total de l'ouvrage est donc de 22 000 francs, soit par mètre courant de portée 2 750 francs.

La partie métallique revient par mètre courant (et pour les deux voies qui composent le tablier) à 777 francs, et par mètre carré de surface couverte à 96 francs.

Épreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves, les flèches constatées ont été de :

	POIDS MORT.	POIDS ROULANT.
	m.	m.
Poutre n. 1.......	0,008	0,0065
— n. 2.......	0,004	0,006
— n. 3.......	0,0065	0,0065
— n. 4.......	0,006	0,0075

OUVRAGE N° 21.

PASSAGE INFÉRIEUR SUR LE CHEMIN DE FER DE PARIS A AVRICOURT.

(Pl. 13, *fig.* 10.)

Ce pont est biais; il est à une seule travée de 8 mètres d'ouverture droite et de $12^m,758$ d'ouverture biaise.

Le tablier, dont l'épaisseur est de $0^m,80$, se compose de quatre poutres longitudinales de 15 mètres de longueur et de $13^m,600$ de portée, espacées entre elles de $2^m,21$ sous les voies et réunies par des entretoises espacées elles-mêmes de 1 mètre sous les voies et de 2 mètres sous l'entre-voie.

Les poutres longitudinales ont $0^m,700$ de hauteur; elles sont formées d'une âme de $0^m,010$ d'épaisseur, de cornières de $\frac{100 \times 100}{11}$ et de semelles de $0^m,400$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur.

Les entretoises placées sous les voies et supportant les longrines sur lesquelles sont fixés les rails, ont $0^m,250$ de hauteur et sont formées d'une âme de $0^m,007$ d'épaisseur et de cornières de $\frac{80 \times 80}{8}$.

Quant aux entretoises d'entre-voie, elles sont constituées par un treillis composé de fers plats.

Les autres dispositions relatives aux consoles, aux garde-corps et au platelage, sont les mêmes que pour l'ouvrage n° 20, dont la description précède.

Le poids du tablier métallique est de 37 000 kilogrammes. La longueur totale des poutres étant de 15 mètres, et l'ouverture biaise entre les culées de $12^m,758$, le poids par mètre courant de tablier est de 2 466 kilogrammes, et par mètre courant d'ouverture 2 900 kilogrammes.

Les maçonneries des culées ont coûté 18 000 francs et la partie métallique 15 000 francs.

Le prix total de l'ouvrage est donc de 33 000 francs, soit par mètre courant de portée 2 426 francs.

Il résulte des renseignements qui précèdent que la partie métallique revient par mètre courant et pour les deux voies dont se compose le tablier, à 1 000 francs, et par mètre carré de surface couverte à 124 francs.

Épreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves, les flèches constatées ont été de :

	POIDS MORT.	POIDS ROULANT.
	m.	m.
Poutre n. 1......	0,011	0,011
— n. 2......	0,007	0,009
— n. 3......	0,007	0,0085
— n. 4......	0,010	0,0085

OUVRAGE N° 22.

PASSAGE INFÉRIEUR SUR LE CHEMIN DE FER DE PARIS A ERMONT.

Ce pont est biais. Il est à une seule travée, de $8^m,11$ d'ouverture droite et de $14^m,053$ d'ouverture biaise.

Le tablier métallique, dont l'épaisseur est de $1^m,02$, se compose de quatre poutres longitudinales de $16^m,50$ de longueur et de 15 mètres de portée, réunies par des entretoises supportant la voie, espacées de 1 mètre d'axe en axe.

Les quatre poutres longitudinales sont à âme pleine; elles ont $0^m,95$ de hauteur et $0^m,008$ d'épaisseur.

Les cornières ont $\frac{100 \times 100}{11,5}$, et les semelles $0^m,350$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur.

Ces poutres sont reliées par des entretoises présentant

une hauteur de $0^m,250$ et formées d'une âme de $0^m,007$ d'épaisseur et de cornières de $\frac{80 \times 80}{8}$.

Les contreventements de l'entre-voie sont formés par des croix de Saint-André en fers plats.

Les trottoirs sont en encorbellement et supportés par des consoles espacées de 2 mètres.

Le platelage du tablier est formé de tôles striées de $0^m,006$ d'épaisseur, rivées sur tout leur pourtour à la charpente métallique qui les supporte.

Le poids du tablier métallique est de 42 100 kilogrammes. La longueur totale des poutres étant de $16^m,50$, et l'ouverture biaise entre les culées, de $14^m,053$, le poids par mètre courant de tablier est de 2 551 kilogrammes, et par mètre courant d'ouverture, de 2995 kilogrammes.

Les maçonneries des culées ont coûté 24 000 francs et le tablier métallique 17000 francs.

Le prix total de l'ouvrage est donc de 41 000 francs, soit par mètre courant de portée 2733 francs.

La partie métallique revient par mètre courant et pour les deux voies dont se compose le tablier à 1 030 francs, et par mètre carré de surface couverte à 127 francs.

Épreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves, les flèches constatées ont été de :

	POIDS MORT.	POIDS ROULANT.
	m.	m.
Poutre n. 1	0,0095	0,0077
— n. 2	0,0065	0,0057
— n. 3	0,0065	0,0065
— n. 4	0,007	0,007

OUVRAGE N° 23.

PASSAGE INFÉRIEUR SUR LE CHEMIN DE FER DE PARIS A CREIL.
(Pl. 13, *fig.* 8 et 9.)

Ce pont est biais. L'ouverture droite est de $16^m,30$; l'ouverture biaise de $21^m,78$.

L'ouvrage est composé de deux travées présentant chacune une portée de $10^m,90$.

La palée est formée de colonnes en fonte de $0^m,30$ de diamètre à la base, $0^m,25$ au sommet, et présentant une épaisseur de $0^m,025$.

Les chapiteaux sur lesquels reposent les poutres ont $0^m,50$ de côté à leur partie supérieure.

Le tablier métallique, dont l'épaisseur est de $0^m,65$, se compose de quatre poutres longitudinales de $23^m,30$ de longueur, espacées sous les voies de $2^m,736$ et réunies par des entretoises espacées elles-mêmes de $0^m,80$, qui supportent les longrines sur lesquelles sont fixés les rails.

Les poutres longitudinales ont $0^m,550$ de hauteur ; elles sont formées d'une âme de $0^m,008$, de cornières de $\frac{90 \times 90}{12}$ et de semelles de $0^m,350$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur.

Les entretoises placées sous les voies présentent une hauteur de $0^m,300$ et sont formées d'une âme de $0^m,008$ d'épaisseur et de cornières de $\frac{80 \times 80}{8}$.

Quant aux entretoises d'entrevoie, espacées de $1^m,60$, elles sont constituées par des fers plats de $0^m,008$ d'épaisseur.

Les trottoirs en encorbellement sont supportés par des consoles espacées de $1^m,60$ d'axe en axe et réunies par des

fers en U de $\frac{175 \times 60}{8 \times 10}$, sur lesquels sont fixés les montants de garde-corps.

Le platelage du tablier est entièrement formé de tôles striées de $0^{m},006$ d'épaisseur, rivées sur tout leur pourtour à la charpente métallique qui les supporte.

Le poids du tablier métallique est de 54 800 kilogrammes. La longueur totale des poutres étant de $23^{m},30$ et l'ouverture biaise entre les culées, de $21^{m},78$, le poids par mètre courant de tablier est de 2 351 kilogrammes, et par mètre courant d'ouverture, de 2 516 kilogrammes.

Les maçonneries des culées ont coûté 17 000 francs et la partie métallique 21 300 francs.

Le prix total de l'ouvrage est donc de 38 300 francs soit par mètre courant de portée 1 717 francs.

La partie métallique revient par mètre courant et pour les deux voies dont se compose le tablier, à 914 francs, et par mètre carré de surface couverte à 113 francs.

Épreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves, les flèches constatées ont été de :

	POIDS MORT.		POIDS ROULANT.	
	1re travée.	2e travée.	1re travée.	2e travée.
	m.	m.	m.	m.
Poutre n. 1.......	0,0095	0,008	0,007	0,0085
— n. 2.......	0,0095	0,007	0,0075	0,0075
— n. 3.......	0,010	0,006	0,007	0,0075
— n. 4.......	0,0095	0,007	0,009	0,0080
	Les travées chargées isolément.			

OUVRAGE N° 24.

PASSAGE INFÉRIEUR SUR LA ROUTE NATIONALE N° 14, DE PARIS AU HAVRE.

(Pl. 13, *fig.* 6 et 7.)

Ce pont, qui est droit, présente une ouverture de $24^m,40$; il est composé de trois travées; les deux travées extrêmes ont $5^m,90$ de portée, et la travée intermédiaire $11^m,80$.

Les palées sont formées de colonnes en fonte de $0^m,30$ de diamètre à la base, de $0^m,25$ au sommet, et présentent une épaisseur de $0^m,025$.

Les chapiteaux sur lesquels reposent les poutres ont $0^m,50$ de côté à leur partie supérieure.

Le tablier métallique, dont l'épaisseur est de $0^m,68$, se compose de quatre poutres longitudinales de $25^m,60$ de longueur, espacées entre elles de $2^m,11$ et réunies par des entretoises espacées elles-mêmes de $0^m,90$ sous les voies et de $1^m,80$ sous l'entre-voie.

Les poutres longitudinales ont $0^m,600$ de hauteur; elles sont formées d'une âme de $0^m,008$ d'épaisseur, de cornières de $\frac{80 \times 80}{11}$ et de semelles de $0^m,300$ de largeur, sur $0^m,010$ d'épaisseur.

Les entretoises placées sous les voies et supportant les longrines sur lesquelles sont fixés les rails, ont $0^m,250$ de hauteur et sont formées d'une âme de $0^m,007$ et de quatre cornières de $\frac{80 \times 80}{8}$.

Quant aux entretoises d'entre-voie, elles sont constituées par un treillis composé de fers plats.

Les trottoirs en encorbellement, sont supportés par des consoles espacées de $1^m,80$ d'axe en axe et réunies par des

fers en U de $\frac{175 \times 60}{8 \times 10}$, sur lesquels sont fixés les montants de garde-corps.

Le platelage est entièrement formé de tôles striées de $0^{m},006$ d'épaisseur, rivées sur tout leur pourtour à la charpente métallique qui les supporte. Ce système, qui augmente la rigidité du tablier et dispense d'employer un contreventement horizontal, est surtout utile pour des ouvrages qui, comme celui-ci, présentent une ouverture assez grande.

Ce tablier ne pèse par mètre courant, y compris les colonnes et sabots, que 2316 kilogrammes. On verra par les conclusions qui sont données à la suite de cette note, que c'est un des ouvrages les plus économiques du chemin de fer de Grande-Ceinture.

Par suite de la disproportion que présentent les travées de rive par rapport à la travée intermédiaire, les extrémités des poutres tendent à se soulever lors du passage des charges dans la travée intermédiaire. Cette disproportion a été imposée par suite de la nécessité de réserver à la chaussée et aux trottoirs de la route la largeur prescrite par le service des Ponts et Chaussées.

Pour s'opposer à ce soulèvement, qui aurait eu pour effet de marteler les plaques d'appui et de désagréger les maçonneries des culées sur lesquelles elles reposent, on a dû ancrer les quatre poutres à leurs deux extrémités.

L'appareil d'ancrage se compose d'une tige verticale en fer de $2^{m},70$ de longueur et de $0^{m},032$ de diamètre, filetée à ses deux extrémités.

A sa partie supérieure, cette tige traverse une forte cornière rivée à l'extrémité de la poutre et soutenue par deux autres cornières plus petites formant consoles. La tige, qui est fixée contre cette cornière au moyen d'un fort écrou, traverse la maçonnerie des culées dans un puits de 2 mètres de hauteur et de $0^{m},10$ de diamètre, ménagé à

cet effet. Le vide réservé entre les parois de ce puits et la tige permet à celle-ci d'obéir aux mouvements qui lui sont transmis par la poutre, dans ses effets de contraction ou de dilatation.

Ces mouvements sont encore facilités, du reste, par la position adoptée pour le système d'ancrage qui retient la tige à sa partie inférieure : une forte rondelle en fonte de $0^m,60$ de diamètre et de $0^m,13$ d'épaisseur, placée horizontalement contre une des assises de la maçonnerie, présente à sa partie centrale un évidement cylindrique d'assez grand diamètre pour permettre les déplacements de la tige qui y passe.

Une seconde rondelle, qui retient la tige au moyen d'un fort écrou, présente sur sa partie en contact avec la rondelle supérieure, une surface légèrement cylindrique dont les génératrices sont perpendiculaires à l'axe de la poutre, de telle sorte que cette seconde rondelle peut rouler sur la première, et permettre à la tige d'ancrage, avec qui elle est solidaire, d'osciller dans un plan vertical et d'obéir aux mouvements de dilatation ou de contraction de la poutre.

Le poids de la partie métallique est de 59 313 kilogrammes, dont 47 500 kilogrammes pour les fers et 11 813 kilogrammes pour les fontes.

La longueur totale des poutres étant de $25^m,60$, et la distance entre les culées de $24^m,40$, le poids par mètre courant de tablier est de 2 316 kilogrammes, et par mètre courant d'ouverture de 2 422 kilogrammes.

Les maçonneries des culées et des palées ont coûté 12 000 francs et la partie métallique 23 000 francs.

Le prix total de l'ouvrage est donc de 35 000 francs, soit par mètre courant de portée 1 422 francs.

Il résulte des renseignements qui précèdent que la partie métallique (fers et fontes) revient par mètre courant, et pour les deux voies dont se compose le tablier, à 935 francs, et par mètre carré de surface couverte à 115 francs.

Épreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves, les flèches constatées ont été de :

	POIDS MORT.			POIDS ROULANT.		
	1re travée.	2e travée.	3e travée.	1re travée.	2e travée.	3e travée.
	m.	m.	m.	m.	m.	m.
Poutre n. 1......	0,0028	0,0105		0,0035	0,0125	0,002
— n. 2......	0,002	0,009		0,002	0,010	0,002
— n. 3......	0,002	0,007		0,002	0,009	0,002
— n. 4......	0,000	0,008		0,0025	0,0085	0,002
	Les travées 1 et 2 chargées simultanément					

OUVRAGE N° 25.

PASSAGE INFÉRIEUR SUR LA ROUTE NATIONALE N° 2, DE PARIS A MAUBEUGE.

Ce pont est biais. L'ouverture droite est de 26m,40, et l'ouverture biaise de 27m,186.

Cet ouvrage, qui est établi suivant le même type que le tablier n° 24, se compose, comme ce dernier, de trois travées. Les deux travées extrêmes ont 6m,60 d'ouverture, et la travée intermédiaire 13m,20.

Les palées sont formées de colonnes en fonte, semblables à celles de l'ouvrage n° 24, dont la description a été donnée page 475.

Le tablier métallique, dont l'épaisseur est de 0m,60, se compose de quatre poutres longitudinales de 28m,70 de longueur, distantes entre elles de 2m,44 sous les voies, et réunies par des entretoises espacées elles-mêmes de 0m,90 sous les voies, et de 1m,80 sous l'entre-voie.

Ces poutres ont 0m,500 de hauteur ; elles sont formées

d'une âme de $0^m,008$ d'épaisseur, de cornières de $\frac{90 \times 90}{10}$ et de semelles de $0^m,350$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur.

Les entretoises placées sous les voies et supportant les longrines sur lesquelles son fixées les rails, ont $0^m,250$ de hauteur, et sont formés d'une âme de $0^m,008$ et de cornières de $\frac{80 \times 80}{8}$

Quant aux entretoises de l'entre-voie, elles présentent les mêmes dimensions que celles de la voie.

Toutes les autres dispositions adoptées pour l'ouvrage n° 24 et relatives aux consoles, trottoirs, garde-corps, platelage, etc., ont été reproduites pour l'ouvrage n° 25.

Les extrémités des poutres de ce tablier ont été ancrées sur les culées comme celles du n° 24, et pour les mêmes raisons.

Le poids de la partie métallique est de 71 150 kilogrammes, dont 57 800 kilogrammes pour les fers, et 13 350 kilogrammes pour les fontes; la longueur totale des poutres étant de $28^m,70$, et la distance biaise entre les culées de $26^m,40$, le poids par mètre courant de tablier est de 2 479 kilogrammes, et par mètre courant d'ouverture de 2 695 kilogrammes.

Les maçonneries des culées et des palées ont coûté 23 000 francs et la partie métallique 27 250 francs. Le prix total de l'ouvrage est donc de 50 250 francs, soit par mètre courant de portée, 1 833 francs.

La partie métallique (fers et fontes) revient par mètre courant et pour les deux voies dont se compose le tablier, à 949 francs, et par mètre carré de surface couverte à 117 francs.

Épreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves, les flèches constatées ont été de :

	POIDS MORT.			POIDS ROULANT.		
	1re travée.	2e travée.	3e travée.	1re travée.	2e travée.	3e travée.
	m.	m.	m.	m.	m.	m.
Poutre n. 1......	0,0015	0,015	0,0015	0,0025	0,012	0,003
— n. 2......	0,0035	0,014	0,0035	0,0025	0,013	0,0025
— n. 3......	0,003	0,011	0,003	0,002	0,012	0,002
— n. 4......	0,0015	0,0105	0,0015	0,002	0,0135	0,003
	Les travées chargées isolément.					

Cinq autres ouvrages ont été établis suivant le type C. Leurs dispositions, au point de vue de la coupe transversale, étant semblables à celles des précédents ouvrages dont la description vient d'être donnée, on se bornera à faire connaître leurs principales dimensions, leurs poids et prix de revient, afin d'établir des comparaisons avec d'autres ouvrages construits suivant des systèmes différents.

N° 26. — PASSAGE INFÉRIEUR DROIT SUR LE CHEMIN DES ECONDEAUX. (Type spécial.)

Nombre de travées.	1	Hauteur des poutres. . . .	$0^m,400$
Portée de la travée. . . .	$4^m,20$	Nombre de voies.	3
Nombre de poutres.	6	Epaisseur du tablier. . . .	$0^m,57$

Poids du tablier métallique. . . . . 15 000 kilog.

soit par mètre courant de tablier $\frac{15000}{5,00}$ =. . 3 000 —

et par mètre courant d'ouverture $\frac{15000}{4}$ =. . . 3 750 —

Prix des culées. . . . . 19 000 francs
Prix du tablier métallique. . . . . 6 100 —

Prix total de l'ouvrage. . . . . 25 100 francs
soit par mètre courant de portée. . . . . . . 5 976 —

La partie métallique revient par mètre courant à. . . . . 1 220 francs
et par mètre carré de surface couverte à. . . . . 90 —

ÉPREUVES.

	Poutre n. 1	Poutre n. 2	Poutre n. 3	Poutre n. 4	Poutre n. 5	Poutre n. 6
Poids mort.	0,0017	0,001	0,003	0,003	0,002	0,002
Poids roulant.. . . .	0,0025	0,0013	0,0045	0,003	0,001	0,004

N° 27. — PASSAGE INFÉRIEUR BIAIS SUR LE CHEMIN VICINAL N° 10. (VOIE DE GAUCHE.) (Type spécial.) Ouverture normale $4^m,50$.

Nombre de travées.	1	Hauteur des poutres. . . .	$0^m,600$
Portée de la travée. . . .	$5^m,30$	Nombre de voies.	1
Nombre de poutres.. . . .	2	Epaisseur du tablier. . . .	$0^m,76$

Poids du tablier métallique. . . . . 5 580 kilog.

soit par mètre courant de tablier $\frac{5\,580}{6,50}$ =. . . 858 —

et par mètre courant d'ouverture $\frac{5\,580}{5,058}$ =. . . 1 103 —

Prix des culées. . . . . 14 700 francs
Prix du tablier métallique. . . . . 2 300 —

Prix total de l'ouvrage. . . . . 17 000 francs
soit par mètre courant de portée. . . . . . . 3 207 —

La partie métallique revient par mètre courant à. . . . . 353 francs
et par mètre carré de surface couverte à. . . . . 77 —

ÉPREUVES.

	Poutre n. 1	Poutre n. 2
Poids mort.	0,0030	0,0015
Poids roulant.	0,0025	0,0025

N° 28. — PASSAGE INFÉRIEUR BIAIS SUR LE CHEMIN VICINAL N° 10. (VOIE DE DROITE.) (Type spécial.) Ouverture normale $4^m,50$.

Nombre de travées.	1	Hauteur des poutres. . . .	$0^m,600$
Portée de la travée. . . .	$5^m,30$	Nombre de voies.	1
Nombre de poutres.	2	Epaisseur du tablier. . . .	$0^m,66$

Poids du tablier métallique. . . . . 5 500 kilog.

soit par mètre courant de tablier $\frac{5\,500}{6,5}$ =. . . 846 —

et par mètre courant d'ouverture $\frac{5\,500}{4,996}$ =. . . 1 100 —

Prix des culées. . . . . 5 000 francs
Prix du tablier métallique. . . . . 2 260 —

Prix total de l'ouvrage. . . . . 7 260 francs
soit par mètre courant de portée. . . . . . . 1 369 —

La partie métallique revient par mètre courant à. . . . . 547 francs
et par mètre carré de surface couverte à. . . . . 80 —

ÉPREUVES.

	Poutre n. 1	Poutre n. 2
Poids mort.	0,0025	0,0025
Poids roulant.	0,0025	0,0025

N° 29. — PASSAGE INFÉRIEUR BIAIS SUR LE CHEMIN VICINAL ORDINAIRE N° 2 DE LONGJUMEAU A SAVIGNY. (Type spécial.) Ouverture normale $4^m,00$.

Nombre de travées.	1	Hauteur des poutres. . . .	$0^m,700$
Portée de la travée. . . .	$5^m,80$	Nombre de voies.	2
Nombre de poutres.	4	Epaisseur du tablier. . . .	$0^m,75$

Poids du tablier métallique. . . . . 15 200 kilog.

soit par mètre courant de tablier $\frac{15\,200}{7,10}$ =. . . 2 140 —

et par mètre courant d'ouverture $\frac{15\,200}{5,375}$ =. . . 2 827 —

Prix des culées. . . . . 18 300 francs
Prix du tablier métallique. . . . . 7 700 —

Prix total de l'ouvrage. . . . . 26 000 francs
soit par mètre courant de portée. . . . . . . 4 482 —

La partie métallique revient par mètre courant à. . . . . 1 084 francs
et par mètre carré de surface couverte à. . . . . 154 —

ÉPREUVES.

	Poutre n. 1	Poutre n. 2	Poutre n. 3	Poutre n. 4
Poids mort.	0,0030	0,0025	0,0025	0,0025
Poids roulant.	0,0025	0,0030	0,0020	0,0015

Eu égard à la portée et à l'épaisseur de tablier dont on disposait, le poids de la superstructure métallique de cet ouvrage aurait pu être sensiblement diminué si, au lieu d'employer le type C, comme on l'a fait, on eût employé l'un des types A ou A'.

On a vu que le tablier métallique établi sur la voie Royer (ouvrage n° 1), dont l'épaisseur est de $0^m,78$ pour une portée de 6 mètres, ne pèse que 1 100 kilogrammes par mètre courant. Ce poids eût été porté à 1 500 kilogrammes si le platelage eût été en tôle striée; or, le tablier de l'ouvrage n° 29, pour une hauteur sensiblement la même et une portée de $5^m,80$ seulement, pèse 2 140 kilogrammes par mètre courant, soit 600 kilogrammes de plus par unité de longueur. Les dispositions de l'ouvrage n° 29 doivent donc être évitées.

On aurait certainement remanié le projet de cet ouvrage pour le ramener à des dispositions plus acceptables, si on n'avait pas été pressé de le construire tel qu'il était prévu, pour livrer passage aux trains de terrassements et ne pas retarder l'ensemble des travaux.

On voit néanmoins par la comparaison qui vient d'être faite l'intérêt qu'il y a à étudier de très près les projets des ouvrages métalliques, si on tient à les établir économiquement.

N° 30. — PASSAGE INFÉRIEUR BIAIS SUR LA ROUTE NATIONALE N° 188, DE PARIS A CHARTRES.

(Type spécial.) Ouverture normale $11^m,00$.

Nombre de travées.	1	Hauteur des poutres. . . .	$0^m,75$
Portée de la travée. . . .	$15^m,92$	Nombre de voies.	2
Nombre de poutres.	4	Epaisseur du tablier. . . .	$0^m,84$

Poids du tablier métallique. . . . . 40 000 kilog.

soit par mètre courant de tablier $\frac{40\,000}{15,32}$ =. . . 2 610 —

et par mètre courant d'ouverture $\frac{40\,000}{13,39}$ =. . . 2 987 —

Prix des culées.	23 500 francs
Prix du tablier métallique.	19 800 —
Prix total de l'ouvrage.	43 300 francs
soit par mètre courant de portée.	3 110 —

La partie métallique revient par mètre courant à. . . . . 1 292 francs
et par mètre carré de surface couverte à. . . . . 179 —

ÉPREUVES.

	Poutre n. 1	Poutre n. 2	Poutre n. 3	Poutre n. 4
Poids mort.	0,0110	0,0100	0,0100	0,0105
Poids roulant.	0,0100	0,0075	0,0090	0,0095

Type C'.

Dans ce système, chaque voie repose par l'intermédiaire d'entretoises sur deux arcs à tympans rigides.

OUVRAGE N° 31.

PASSAGE INFÉRIEUR SUR LE CANAL DE L'OURCQ.

(Pl. 13, *fig.* 13.)

Ce pont est biais. L'ouverture droite est de $18^m,28$, l'ouverture biaise est de $20^m,69$.

Par suite de la nécessité où l'on s'est trouvé de franchir cette distance sans points d'appui intermédiaires, on a dû recourir à un arc métallique à tympans rigides, ayant

$21^{m},60$ de corde et $1^{m},04$ de flèche, qui se trouve par suite surbaissé au $\frac{1}{12}$ environ.

Le tablier, dont l'épaisseur est de $0^{m},51$, se compose de quatre fermes espacées sous les voies de $2^{m},26$ et réunies par des entretoises espacées elles-mêmes de $0^{m},600$, qui supportent les longrines sur lesquelles sont fixés les rails.

Chacune de ces fermes comprend un arc proprement dit formant l'intrados et un longeron horizontal, formant l'extrados, se confondant avec l'arc aux environs de la clef et reposant sur les culées à ses deux extrémités.

Aux naissances, l'arc proprement dit a une hauteur de $0^{m},400$ et est formé d'une âme de $0^{m},010$ d'épaisseur, et de deux cornières *intrados* de $\frac{90 \times 90}{10}$, renforcées par quatre semelles de $0^{m},300$ de largeur sur $0^{m},010$ d'épaisseur. Quant au longeron, il se compose d'une âme de $0^{m},01$ d'épaisseur, de $0^{m},400$ de hauteur, et de deux cornières supérieures de $\frac{90 \times 90}{10}$, renforcées d'une semelle de $0^{m},30$ de largeur sur $0^{m},010$ d'épaisseur.

A la clef, l'arc et le longeron sont réunis et présentent ensemble la section d'une poutre à double T, de $0^{m},400$ de hauteur, formée d'une âme de $0^{m},010$ d'épaisseur, de quatre cornières de $\frac{90 \times 90}{10}$ et de cinq semelles de $0^{m},300$ de largeur et de $0^{m},010$ d'épaisseur, dont une à l'intrados et quatre à l'extrados.

Les montants, réunissant les arcs aux longerons, sont distants entre eux de $1^{m},80$ et formés de quatre cornières accouplées de $\frac{80 \times 80}{8}$, rivées contre les âmes des arcs et des longerons.

Les barres de treillis sont formées par des fers en U

accouplés deux à deux, présentant des sections qui varient entre $\frac{235\times85}{10\times12}$ et $\frac{175\times60}{8\times10}$.

Les entretoises sous les voies ont $0^m,200$ de hauteur et sont formées d'une âme de $0^m,008$ d'épaisseur et de cornières de $\frac{80\times80}{8}$.

Les deux fermes intermédiaires sont réunies sous l'entre-voie au moyen d'entretoises espacées de $1^m,60$ et formées de cornières et de fers plats; elles sont en outre contreventées en quatre points différents, au moyen de croix de Saint-André, rivées contre des goussets pincés entre les cornières des montants et formées de fers à T dont la largeur varie entre $0^m,100$ et $0^m,150$.

Les trottoirs sont en encorbellement et supportés par des consoles espacées de $1^m,80$, réunies par des fers en U de $\frac{175\times60}{8\times10}$ sur lesquels sont fixés les montants de garde-corps.

Le platelage du tablier est formé de tôles striées de $0^m,006$ d'épaisseur, rivées sur tout leur pourtour à la charpente métallique qui les supporte.

Le poids de la partie métallique est de 61 000 kilogrammes. La plus grande longueur du tablier mesurée suivant les longerons, étant de $24^m,20$ et la longueur de la corde de $21^m,60$, le poids par mètre courant de tablier est de 2 520 kilogrammes et par mètre courant d'ouverture, de 2 824 kilogrammes.

Les maçonneries des culées ont coûté 15 000 francs et le tablier métallique 24000 francs.

Le prix total de l'ouvrage est donc de 39 000 francs, soit par mètre courant de portée, 1 805 francs.

Il résulte des renseignements qui précèdent que la partie métallique revient par mètre courant à 991 francs, et par mètre carré de surface couverte à 125 francs.

Épreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves, les flèches constatées ont été de:

	POIDS MORT.	POIDS ROULANT.
	m.	m.
Arc n. 1........	0,010	0,009
— n. 2........	0,0065	0,0095
— n. 3........	0,010	0,008
— n. 4........	0,0095	0,013

OUVRAGE N° 32.

PASSAGE INFÉRIEUR SUR LA ROUTE NATIONALE N° 1, DE PARIS A CALAIS.

(Pl. 13, *fig.* 11 et 12.)

Ce pont, qui est droit, présente une ouverture de $27^m,50$; il se compose d'une seule travée formée d'un arc métallique à tympans rigides, ayant 28 mètres de corde et $2^m,80$ de flèche.

Le tablier, dont l'épaisseur est de $0^m,57$, se compose de quatre fermes espacées sous les voies de $2^m 11$ et réunies par des entretoises espacées elles-mêmes de $0^m,875$, qui supportent les longrines sur lesquelles sont fixées les rails.

Chacune de ces fermes comprend un arc proprement dit, formant l'intrados, et un longeron horizontal, formant l'extrados, se confondant avec l'arc aux environs de la clef, et reposant sur les culées à ses deux extrémités.

Aux naissances, l'arc proprement dit a une hauteur de $0^m,400$ et est formé d'une âme de $0^m,010$ d'épaisseur et de deux cornières *intrados* de $\frac{90 \times 90}{10}$, renforcées par quatre semelles de $0^m,300$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur. Quant au longeron, il se compose d'une âme de $0^m,01$ d'épaisseur, de $0^m,400$ de hauteur et de deux

cornières supérieures de $\frac{90 \times 90}{10}$ renforcées d'une semelle de $0^m,30$ de largeur sur 0^m010 d'épaisseur.

A la clef, l'arc et le longeron sont réunis et présentent ensemble la section d'une poutre à double T, de $0^m,40$ de hauteur, formée d'une âme de $0^m,10$ d'épaisseur, de quatre cornières $\frac{90 \times 90}{10}$ et de quatre semelles de $0^m,30$ de largeur et de $0^m,01$ d'épaisseur, dont une à l'intrados et trois à l'extrados.

Les montants, distants de $1^m,75$, sont formés de quatre cornières accouplées de $\frac{80 \times 80}{8}$ rivées contre les âmes des arcs et des longerons.

Les barres de treillis sont formées par des fers en U accouplés deux à deux, de $\frac{175 \times 60}{8 \times 10}$ près des naissances et de $\frac{235 \times 85}{10 \times 12,5}$ près de la clef.

Les entretoises sous les voies ont $0^m,272$ de hauteur et sont formées d'une âme de $0^m,008$ d'épaisseur et de cornières de $\frac{80 \times 80}{8}$.

Les deux fermes intermédiaires sont réunies dans l'entrevoie au moyen d'une poutrelle de $0^m,200$ de hauteur, formée d'une âme de $0^m,008$ et de cornières de $\frac{80 \times 80}{8}$. Elles sont en outre, contreventées tous les $3^m,50$ au moyen de croix de Saint-André, rivées contre des goussets pincés entre les cornières des montants. Ces croix sont formées de fers à T dont la largeur varie entre $0^m,150$ et 0^m100.

Les trottoirs sont en encorbellement et supportés par des consoles espacées de $1^m,75$, réunies par des fers en U de $\frac{175 \times 60}{8 \times 10}$, sur lesquels sont fixés les montants de garde-

corps. Le platelage du tablier est formé de tôles striées de $0^m,006$ d'épaisseur, rivées sur tout leur pourtour à la charpente métallique qui les supporte.

Le poids du tablier métallique est de 68 000 kilogrammes. La plus grande longueur du tablier mesurée suivant les longerons, étant de $18^m,92$, et la longueur de la corde de 28 mètres, le poids par mètre courant de tablier est de 2 351 kilogrammes, et par mètre courant d'ouverture, de 2 428 kilogrammes.

Il est assez intéressant de remarquer que ce pont en arc pèse autant par mètre courant que le pont à poutres droites et à deux travées, établi sur le chemin de fer de Paris à Creil.

On reviendra, dans les conclusions données à la fin de la présente note, sur cet avantage que présentent les arcs en tôle.

Les maçonneries des culées ont coûté 34 000 francs et la partie métallique 29 000 francs.

Le prix total de cet ouvrage est donc de 63 000 francs, soit par mètre courant de portée 2 250 francs.

La partie métallique revient par mètre courant (et pour les deux voies dont se compose le tablier), à 1 002 francs, et par mètre carré de surface couverte à 124 francs.

Épreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves, les flèches constatées ont été de :

	POIDS MORT.	POIDS ROULANT.
	m.	m.
Arc n. 1......	0,0135	0,013
— n. 2......	0,0135	0,014
— n. 3......	0,0135	0,0145
— n. 4......	0,0135	0,0135

Type D.

Dans ce système, les voies reposent par l'intermédiaire de fortes entretoises sur deux grandes poutres à treillis formant garde-corps. Ces poutres sont distantes de $1^m,70$ *environ, des rails extérieurs de chaque voie.*

OUVRAGE N° 33.

PASSAGE INFÉRIEUR SUR LA LIGNE DE PARIS AU HAVRE PRÈS POISSY.

Ce pont est biais et ne comporte qu'une voie. Il est à une seule travée de 8 mètres d'ouverture droite et de $16^m,890$ d'ouverture biaise.

Le tablier se compose de deux poutres longitudinales de 20 mètres de longueur et de 18 mètres de portée, distantes entre elles de $4^m,84$. Ces poutres forment garde-corps et sont réunies par des entretoises espacées elles-mêmes de $1^m,80$ d'axe en axe.

Les deux poutres longitudinales sont à treillis ; elles ont $2^m,10$ de hauteur et sont formées d'une âme évidée de $0^m,008$ d'épaisseur dont les parties pleines ont $0^m,300$ de hauteur. Les cornières ont $\frac{90 \times 90}{10}$ et les semelles $0^m,350$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur.

Les treillis sont formés par des fers en U qui ont $\frac{140 \times 56}{12 \times 10}$ près des appuis et $\frac{140 \times 45}{7 \times 10}$ au milieu de la travée.

Les entretoises correspondent à chacun des montants des poutres et sont reliées à celles-ci au moyen de goussets qui en diminuent la portée.

Ces entretoises présentent une hauteur de $0^m,500$; elles

sont formées d'une âme de $0^m,008$ d'épaisseur et de cornières de $\frac{90 \times 90}{12}$.

Ce pont se trouvant dans une courbe et la voie étant par conséquent en dévers, on a dû placer la longrine supportant le rail intérieur à la courbe, en contre-bas des entretoises, par suite du peu de hauteur dont on disposait entre le dessus de la voie et le dessous des poutres, $0^m,76$. Cette sujétion n'a pas été nécessaire pour la longrine supportant le rail extérieur, qui se trouve plus haute de $0^m,08$; aussi cette dernière passe sans interruption sur les entretoises, tandis que la longrine la plus basse a dû être coupée à la rencontre de chacune des pièces transversales du tablier.

La longrine la plus basse est supportée par deux longerons jumelés, espacés entre eux de $0^m,35$ et réunis tous les $0^m,70$ par de petites pièces transversales sur lesquelles reposent les longrines.

Ces longerons sont fixés aux entretoises ; ils présentent une hauteur de $0^m,30$ et sont formés d'une âme de $0^m,008$ d'épaisseur et de deux cornières de $\frac{80 \times 60}{8}$ placées extérieurement aux longerons.

Quant à la longrine la plus haute, elle est supportée par un longeron simple, fixé après les entretoises, et formé d'une âme de $0^m,300$ de hauteur sur $0^m,008$ d'épaisseur et de quatre cornières de $\frac{80 \times 60}{8}$.

Le platelage du tablier est formé de tôles striées de $0^m,006$ d'épaisseur, rivées par leurs quatre côtés, soit sur les cornières des longerons ou les semelles des entretoises, soit sur des cornières longitudinales fixées à l'âme des grandes poutres, entre les barres de treillis. Ce platelage très rigide a permis de supprimer le contreventement horizontal.

Le poids du tablier métallique est de 31 700 kilogram-

mes. La longueur totale des poutres étant de 20 mètres et l'ouverture biaise entre les culées, de 16^{m},89, le poids par mètre courant de tablier est de 1 585 kilogrammes et par mètre courant d'ouverture, de 1 876 kilogrammes.

Les maçonneries des culées ont coûté 41 900 francs et la partie métallique 13 000 francs.

Le prix total de l'ouvrage est donc de 54 900 francs, soit par mètre courant de portée 3 050 francs.

Il résulte de ce qui précède que la partie métallique revient par mètre courant à 347 francs et par mètre carré de surface couverte à 80 francs.

Épreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves les flèches constatées ont été de :

	POIDS MORT.	POIDS ROULANT.
	m.	m.
Poutre n. 1......	0,003	0,005
— n. 2......	0,003	0,004

OUVRAGE n° 34.

PASSAGE INFÉRIEUR SUR LA LIGNE DE PARIS AU HAVRE (A SARTROUVILLE).

(Pl. 13, *fig.* 14 et 15.)

Ce pont a été établi dans les mêmes conditions que le précédent; il présente le même biais, la même ouverture et n'a aussi qu'une seule voie.

Les deux poutres longitudinales présentent également les mêmes dispositions.

La seule différence entre les deux ouvrages consiste dans un système spécial de montants et dans les entretoises qui sont moins hautes encore dans ce tablier que dans le précédent.

Les montants de l'ouvrage n° 33 sont formés seulement de quatre cornières assemblées entre elles et interrompues à la rencontre de chacune des barres du treillis.

Dans l'ouvrage n° 34, au contraire, les montants, dont la disposition est donnée planche 13, *fig.* 15, sont formés d'une tôle pleine, aussi large que les semelles auxquelles elle est fixée et régnant sur toute la hauteur de la poutre; cette tôle, qui ne présente d'évidements que pour le passage des barres du treillis, est armée de cornières sur ses deux faces.

Ces derniers montants ont l'inconvénient de présenter un poids bien supérieur aux premiers, sans donner pour cela un excédent de résistance, ainsi qu'on le verra par la comparaison des tableaux où sont consignés les résultats des épreuves. On remarquera au contraire que le tablier n° 33, établi avec les montants les plus légers, s'est mieux comporté sous l'influence des charges d'épreuves, que le tablier n° 34 établi avec les montants les plus lourds.

Les entretoises n'ont que $0^m,35$, par suite de la hauteur très réduite dont on disposait entre le dessus des rails et le dessous des poutres, $0^m,60$.

Elles sont formées d'une âme de $0^m,008$ d'épaisseur, de cornières de $\frac{80 \times 80}{11}$ et de semelles de $0^m,250$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur.

Toutes les autres dispositions du tablier n° 34 sont les mêmes que pour le tablier n° 33.

Ce dernier pèse 1 585 kilogrammes par mètre courant, tandis que le n° 35 pèse 1 700 kilogrammes.

Cette différence est due uniquement aux différents systèmes de montants employés.

On peut donc conclure que les montants du pont n° 34 doivent être évités, puisqu'ils pèsent davantage et ne donnent pas à l'ensemble de la charpente métallique plus de résistance que les montants du tablier n° 33.

Le poids du tablier métallique n° 34 est de 34 000 kilo-

grammes; la longueur totale des poutres étant de 20 mètres et l'ouverture biaise entre les culées de $16^m,89$, le poids par mètre courant de tablier est de 1 700 kilogrammes, et par mètre courant d'ouverture de 2 013 kilogrammes.

Les maçonneries des culées ont coûté 14 700 francs et la partie métallique 14 000 francs.

Le prix total de l'ouvrage est donc de 31 000 francs, soit par mètre courant de portée 1 722 francs.

La partie métallique revient par mètre courant à 700 francs et par mètre carré de surface couverte à 144 francs.

Épreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves, les flèches constatées ont été de :

	POIDS MORT.	POIDS ROULANT.
	m.	m.
Poutre n. 1......	0,004	0,005
— n, 2......	0,004	0,005

OUVRAGE N° 35.

PASSAGE INFÉRIEUR SUR LA ROUTE NATIONALE N° 13, DE PARIS A CHERBOURG.

Ce pont est biais; il est à une seule travée de 15 mètres d'ouverture droite et de $15^m,364$ d'ouverture biaise. Le tablier se compose de deux poutres longitudinales de $17^m,30$ de longueur et de $15^m,60$ de portée. Ces poutres forment garde-corps et sont réunies par des entretoises espacées de $1^m,90$ d'axe en axe.

Les deux poutres longitudinales sont à treillis; elles ont $2^m,20$ de hauteur et sont formées d'une âme évidée de 0,010 d'épaisseur, dont les parties pleines ont $0^m,400$ de

hauteur; les cornières ont $\frac{90 \times 90}{10}$ et les semelles $0^m,350$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur.

Les treillis sont formés par des fers en U qui ont $\frac{235 \times 85}{10 \times 12,5}$ près des appuis et $\frac{140 \times 52}{8 \times 10}$ au milieu de la travée.

Les entretoises correspondent à chacun des montants des poutres et sont reliées à celles-ci au moyen de goussets qui en diminuent la portée. Elles présentent une hauteur de $0^m,600$ et sont formées d'une âme de $0^m,008$ d'épaisseur, de cornières de $\frac{90 \times 90}{10}$ et de semelles de $0^m,300$ de largeur sur 0,010 d'épaisseur.

Ce pont est placé dans une courbe; la voie se trouve par conséquent en dévers. Pour ce motif et aussi en raison de ce qu'on ne pouvait donner que $0^m,85$ d'épaisseur au tablier, on a dû disposer les longrines et longerons sous rails, ainsi qu'il a été dit à l'ouvrage n° 33, page 491.

Le platelage du tablier est formé de tôles striées de $0^m,006$ d'épaisseur (non compris les stries qui ont $0^m,002$ rivées par leurs quatre côtés, soit sur les cornières des longerons ou les semelles des entretoises, soit sur des cornières longitudinales fixées à l'âme des grandes poutres, entre les barres du treillis. Ce platelage très rigide a permis de supprimer le contreventement horizontal.

Le poids du tablier est de 47 000 kilogrammes; la longueur totale des poutres étant de $17^m,30$ et l'ouverture biaise entre les culées, de $15^m,364$, le poids par mètre courant de tablier est de 2 716 kilogrammes et par mètre courant d'ouverture de 3 059 kilogrammes.

Les maçonneries des culées ont coûté 23 000 francs et le tablier 19 000 francs.

Le prix total de l'ouvrage est donc de 42 000 francs, soit par mètre courant de portée 2 692 francs.

La partie métallique revient par mètre courant à 1 098 francs et par mètre carré de surface couverte à 128 francs.

Épreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves les flèches constatées ont été de :

	POIDS MORT.	POIDS ROULANT.
	m.	m.
Poutre n. 1.......	0,005	0,004
— n. 2.......	0,004	0,004

OUVRAGE N° 36.

PASSAGE INFÉRIEUR SUR LE CHEMIN DES PAROUZETS.

(Pl. 14, *fig.* 18.)

Ce pont est biais; il est à une seule travée de $10^m,10$ d'ouverture droite et de $23^m,547$ d'ouverture biaise.

Le tablier se compose de deux poutres longitudinales formant garde-corps, de 27 mètres de longueur et de 25 mètres de portée, réunies par de grandes entretoises espacées de $2^m,20$ d'axe en axe et supportant les voies.

Les deux poutres longitudinales sont à treillis; elles ont $2^m,500$ de hauteur et sont formées d'une âme évidée de 0,010 d'épaisseur, dont les parties pleines ont $0^m,400$ de hauteur; les cornières ont $\frac{100 \times 100}{15}$ et les semelles $0^m,400$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur.

Les treillis sont formés par des fers en U de $\frac{235 \times 89}{14 \times 12}$ près des appuis; ces dimensions diminuent progressivement jusqu'au milieu de la portée, où elles se réduisent à $\frac{140 \times 52}{8 \times 10}$.

Les entretoises correspondent à chacun des montants des poutres et sont reliées à celles-ci au moyen de goussets qui en diminuent la portée.

Ces entretoises présentent une hauteur de $0^m,400$; elles sont formées d'une âme de $0^m,008$ d'épaisseur, de cornières de $\frac{90 \times 90}{12}$ et de semelles de $0^m,350$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur.

Par suite du peu de hauteur dont on disposait entre le dessus des rails et le dessous des poutres ($0^m,67$) et en raison de ce que ce pont étant placé dans une courbe, les longrines se trouvent en dévers, on a dû adopter pour cet ouvrage la disposition décrite au n° 33 ci-dessus, page 491.

Le platelage du tablier est formé de tôles striées fixées sur tout leur pourtour à la charpente métallique qui les supporte.

On verra par les conclusions données à la fin de cette note, combien ce type est préférable, au point de vue de l'économie, à celui qui est formé de trois poutres longitudinales dont une intermédiaire, réunies entre elles par des entretoises de plus faible portée.

Le poids du tablier métallique est de 82 400 kilogrammes. La longueur totale des poutres étant de 27 mètres et l'ouverture biaise entre les culées, de $23^m,547$, le poids par mètre courant de tablier est de 3 050 kilogrammes et par mètre courant d'ouverture, de 3 500 kilogrammes.

Les maçonneries des culées ont coûté 38 000 francs et la partie métallique 33 000 francs.

Le prix total de l'ouvrage est donc de 71 000 francs, soit par mètre courant de portée 2 840 francs.

Il résulte de ce qui précède que la partie métallique revient à 1 222 francs par mètre courant et à 151 francs par mètre carré de surface couverte.

Épreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves, les flèches constatées ont été de :

	POIDS MORT.	POIDS ROULANT.
	m.	m.
Poutre n. 1.......	0,0085	0,0075
— n. 2.......	0,010	0,010

OUVRAGE N° 37.

PASSAGE INFÉRIEUR SUR LA GARE DU BOURGET, AVEC PASSERELLE DE 3 MÈTRES DE LARGEUR.

(Pl. 14, *fig.* 16 et 17.)

Ce pont est biais; l'ouverture droite est de $67^m,46$, l'ouverture biaise de $71^m,30$.

Le tablier se compose de 5 travées; les deux travées extrêmes ont $11^m,80$ de portée et les trois travées intermédiaires $15^m,340$.

Les palées sont formées de colonnes en fonte de $0^m,450$ de diamètre à la base, de $0^m,35$ au sommet et présentant une épaisseur de $0^m,04$.

Les poutres reposent sur les chapiteaux des colonnes, par l'intermédiaire de rouleaux de dilatation de $0^m,26$ de diamètre.

Les rouleaux placés sous les poutres principales sont au nombre de trois sur chaque colonne.

Quant aux rouleaux placés sous la poutre de la passerelle, ils sont au nombre de deux seulement.

Le pont est en pente de $0^m,002$ par mètre. Chaque poutre repose, par l'intermédiaire de deux rouleaux de $0^m,26$ de diamètre, sur la culée la plus haute, et au moyen de sabots en fonte sans appareils de dilatation sur la culée la plus basse. Le mouvement de dilatation s'opère donc en remontant la pente que présente le tablier.

La superstructure métallique se compose de trois poutres longitudinales de $73^m,02$ de longueur; le tablier supportant

les voies est formé de deux grandes poutres à treillis espacées de $8^m,520$, d'axe en axe, réunies par de grandes entretoises espacées elles-mêmes de $1^m,98$. La passerelle est supportée d'une part par une petite poutre à treillis et d'autre part par l'une des deux poutres supportant les voies ; ces poutres, espacées de $3^m,155$ d'axe en axe, sont réunies par de petites entretoises en fer laminé, espacées elles-mêmes de $0^m,990$.

Les deux grandes poutres supportant les voies présentent les mêmes dimensions, à cette différence près, que le nombre de semelles est plus grand pour la poutre intermédiaire que pour la poutre de rive, par suite du surcroît de charge imposé à la première par la moitié du poids de la passerelle qu'elle a à supporter.

Ces deux poutres présentent une hauteur de $2^m,38$; elles sont formées d'une âme évidée de $0^m,008$ d'épaisseur dont les parties pleines ont $0^m,400$ de hauteur ; les cornières ont $\frac{90 \times 90}{10}$, et les semelles sont formées de feuilles de tôle de $0^m,300$ de largeur et de $0^m,010$ d'épaisseur.

Les treillis sont formés par des fers en U dont la section varie entre $\frac{235 \times 90}{10 \times 12,5}$ et $\frac{140 \times 52}{8 \times 10}$.

Les entretoises correspondent à chacun des montants des poutres et sont reliées à celles-ci au moyen de goussets qui en diminuent la portée.

Ces entretoises présentent une hauteur de 0^m550 ; elles sont formées d'une âme de $0^m,008$ d'épaisseur, de cornières de $\frac{80 \times 80}{8}$ et de semelles de $0^m,300$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur.

Ce pont étant placé dans le voisinage d'une courbe, la voie se trouve par conséquent en dévers.

Comme d'autre part, on ne disposait que de $0^m,80$ pour l'épaisseur du tablier, on a été forcé d'établir les longrines

et longerons sous rails suivant la disposition décrite à propos de l'ouvrage n° 33, page 491.

Le platelage du tablier est formé de tôles striées fixées sur tout leur pourtour à la charpente métallique qui les supporte.

Passerelle. — La poutre de rive de la passerelle présente une hauteur de $1^m,09$; elle est composée de deux fers à T de $\frac{150 \times 100}{11 \times 11}$, renforcés par des semelles de $0^m,150$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur. Ces fers à T sont réunis entre eux par des barres de treillis, formées de cornières dont la section varie entre $\frac{80 \times 80}{8}$ et $\frac{80 \times 50}{8}$.

Les entretoises qui relient cette poutre à la grande poutre intermédiaire supportant une des voies et la moitié de la passerelle, sont en fer à double T laminé, de $\frac{175 \times 80}{8 \times 11}$. Le platelage est formé par des voûtes en briques de $0^m,055$ d'épaisseur, dont les naissances reposent sur les ailes inférieures des entretoises. Ces voûtes sont recouvertes d'un remplissage en béton sur lequel est établie une couche d'asphalte de $0^m,02$, présentant transversalement un léger bombement afin de faciliter l'écoulement des eaux pluviales. C'est sur cette couche d'asphalte que s'effectue la circulation des piétons.

Le poids de la partie métallique est de 250 500 kilogrammes, dont 200 000 kilogrammes de fers et 50 500 kilogrammes de fontes pour colonnes et sabots.

La longueur totale des poutres étant de 73 mètres, et l'ouverture biaise entre les culées, de $71^m,30$, le poids par mètre courant de tablier est de 3 431 kilogrammes et par mètre courant d'ouverture, de 3 513 kilogrammes.

Les maçonneries des culées, des palées et des voûtes en briques de la passerelle ont coûté 44 000 francs et la partie métallique 94 000 francs; le prix total de l'ouvrage est

donc de 138 000 francs, soit par mètre courant de portée, 1 926 francs.

D'après cela, la partie métallique revient par mètre courant à 1 287 francs et par mètre carré de surface couverte à 110 francs, y compris la passerelle et les deux voies dont se compose le tablier.

Épreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves, les flèches constatées ont été de :

	POIDS MORT.					POIDS ROULANT.				
	1re travée.	2e travée.	3e travée.	4e travée.	5e travée.	1re travée.	2e travée.	3e travée.	4e travée.	5e travée.
	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
…tre n. 1 de rive.. . .	0,004	0,0045	0,0055	0,005	0,004	0,004	0,005	0,0045	0,0035	0,004
…tre n. 2 interméd. .	0,004	0,0045	0,0035	0,003	0,003	0,0025	0,0035	0,004	0,004	0,003
…tre n. 3 passerelle. .	0,002	0,004	0,0035	0,004	0,002	»	»	»	»	»
	Résultats obtenus en chargeant les travées isolément.									

Type D'.

Dans ce système, les voies reposent, par l'intermédiaire de fortes entretoises, sur trois grandes poutres à treillis, dont les deux extrêmes forment garde-corps.

OUVRAGE N° 38.

PASSAGE INFÉRIEUR SUR LE CHEMIN DE FER DE PARIS A LIMOURS

(Pl. 14, *fig.* 19.)

Ce pont est biais. L'ouverture droite est de $10^m,651$; l'ouverture biaise est de $18^m,916$. Il ne comporte qu'une seule travée.

Le tablier se compose de trois poutres longitudinales à treillis, de $22^m,400$ de longueur et de $20^m,500$ de portée, espacées de $4^m,905$ d'axe en axe, et réunies par de grandes entretoises espacées elle-mêmes de $1^m,80$.

Les trois poutres longitudinales ont la même hauteur, mais en raison des charges plus considérables qu'elle a à supporter, la poutre intermédiaire présente une section différente des poutres de rive, surtout en ce qui concerne l'épaisseur des semelles.

La poutre intermédiaire a $2^m,10$ de hauteur; elle est formée d'une âme évidée dont les parties pleines ont $0^m,450$ de hauteur et $0^m,012$ d'épaisseur; les cornières ont $\frac{100 \times 100}{12}$ et les semelles $0^m,400$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur.

Les treillis sont formés par des fers en U dont la largeur varie entre $0^m,22$ et $0^m,14$ et qui sont faits, les premiers de tôles et cornières assemblées, les seconds de fers laminés d'une seule pièce, dont la section varie entre $\frac{175 \times 64}{12 \times 10}$ et $\frac{140 \times 50}{12 \times 10}$.

Les poutres de rive, dont la hauteur est la même que celle de la poutre intermédiaire, sont formées d'une âme évidée dont les parties pleines ont $0^m,400$ de hauteur et $0^m,012$ d'épaisseur. Les dimensions des cornières et des semelles sont les mêmes que pour la poutre intermédiaire.

Les treillis sont formés par des fers en U qui varient entre $\frac{140 \times 50}{12 \times 10}$ et $\frac{140 \times 45}{7 \times 10}$.

Les entretoises correspondent à chacun des montants des poutres; elles sont formées d'une âme de $0^m,500$ de hauteur et de $0^m,008$ d'épaisseur, de cornières de $\frac{80 \times 80}{10}$ et de semelles de $0^m,300$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur.

Ce pont est placé dans une courbe, la voie se trouve par conséquent en dévers. Pour ce motif et aussi en raison de ce que l'on ne pouvait donner que $0^m,71$ à l'épaisseur du tablier, on a dû disposer les longrines et longerons sous rails ainsi qu'il a été dit à l'ouvrage n° 33, page 491.

Le platelage du tablier est formé de tôles striées fixées sur tout leur pourtour à la charpente métallique qui les supporte.

Le poids du tablier métallique est de 80 000 kilogrammes; la longueur totale des poutres étant de $22^m,40$ et l'ouverture biaise entre les culées, de $18^m,83$, le poids par mètre courant de tablier est de 3 571 kilogrammes et par mètre courant d'ouverture, de 4 248 kilogrammes.

Les maçonneries des culées ont coûté 39 700 francs et le tablier métallique 40 300 francs.

Le prix total de l'ouvrage est donc de 80 000 francs, soit par mètre courant de portée 3 902 francs.

Il résulte des renseignements qui précèdent que la partie métallique revient par mètre courant et pour les deux voies dont se compose le tablier, à 1 800 francs et par mètre carré de surface couverte à 183 francs.

On verra par les conclusions données à la fin de cette note, que le système adopté pour cet ouvrage est beaucoup moins économique que le système adopté pour les tabliers nos 35 et 36, qui consiste en deux grandes poutres à treillis reliées entre elles par de fortes entretoises sur lesquelles reposent les voies.

L'adjonction d'une troisième poutre entraîne en effet une augmentation de largeur du tablier qui n'est pas moindre de $1^m,30$; les culées doivent être élargies de la même quantité.

Toutes ces sujétions, jointes à un cube de remblai plus élevé, ainsi qu'à une augmentation de surface des terrains à acquérir aux abords de l'ouvrage, constituent un surcroît de dépenses qu'on peut éviter en adoptant de préférence

au type à trois poutres, le système adopté pour les ponts nos 35 et 36 qui ne comportent que deux poutres seulement.

Épreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves, les flèches constatées ont été de :

	POIDS MORT.	POIDS ROULANT.
	m.	m.
Poutre n. 1.......	0,007	0,0085
— n. 2.......	0,008	0,0065
— n. 3.......	0,009	0,0080

PASSAGES SUPÉRIEURS.

Type E.

Dans ce système, applicable à des largeurs entre garde-corps, comprises entre 4 et 5 mètres, le platelage repose, par l'intermédiaire d'entretoises, sur deux grandes poutres à treillis formant garde-corps.

OUVRAGE N° 39.

PASSAGE SUPÉRIEUR SUR LA DÉVIATION DU CHEMIN DU BOUVET.

(Pl. 14, *fig.* 20 et 21.)

Ce pont est droit ; il présente une ouverture de 16 mètres entre les culées. Il est établi d'après un type en usage dans la compagnie d'Orléans, qui est susceptible d'être employé lorsque le passage ne doit avoir que 4 mètres de largeur, ce qui est le cas des chemins ruraux, et qu'il y a intérêt à franchir la distance entre les deux culées sans

point d'appui intermédiaire. Ce type a l'avantage de bien dégager la vue de la voie.

Le tablier, dont l'épaisseur est de $0^m,60$, est formé par deux grandes poutres longitudinales à treillis de $17^m,60$ de longueur, formant garde-corps. La distance entre les poutres est de $4^m,40$ dont $2^m,40$ pour la chaussée et 1 mètre pour chacun des trottoirs.

Les poutres sont réunies par des entretoises de $0^m,38$ de hauteur, espacées elle-mêmes de $1^m,60$.

Les poutres ont $1^m,76$ de hauteur; elles sont formées d'une âme évidée de $0^m,007$, présentant à sa partie supérieure une hauteur pleine de $0^m,25$ et à sa partie inférieure une hauteur de $0^m,72$, pour cacher les voûtes supportant les trottoirs.

Les treillis sont à mailles serrées, puisqu'ils doivent former garde-corps. On a donc dû les composer de fers plats de $0^m,06$ de largeur sur $0^m,008$ d'épaisseur.

Les cornières des poutres ont $\frac{80 \times 80}{10}$, et les semelles $0^m,360$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur.

Les montants correspondent à chaque entretoise et sont composés de quatre cornières de $\frac{80 \times 80}{8}$.

La chaussée repose sur des voûtes en briques de $0^m,11$ d'épaisseur, dont les naissances s'appuient sur les cornières inférieures des entretoises. Ces voûtes sont garnies de béton jusqu'au niveau des entretoises. Une couche d'asphalte de $0^m,02$ d'épaisseur recouvre ce béton et reçoit les eaux pluviales, qu'elle amène, au moyen d'une pente légère ménagée à cet effet, jusqu'à la partie antérieure des culées.

La chaussée présente une épaisseur moyenne de $0^m,23$; elle est empierrée sur toute sa longueur.

Les trottoirs sont établis sur des voûtes en briques de $0^m,11$ d'épaisseur, dont les naissances s'appuient sur les

cornières supérieures des entretoises. Cette épaisseur est trop forte et devrait être réduite à $0^m,05$. Les parties comprises entre les reins de ces voûtes sont remplies par un garnissage en béton sur lequel est établie une couche d'asphalte de $0^m,02$ d'épaisseur qui recouvre les trottoirs.

La partie métallique pèse 20 000 kilogrammes. La longueur totale des poutres étant de $17^m,60$, et l'ouverture entre les culées, de 16 mètres, le poids par mètre courant de tablier est de 1 135 kilogrammes et par mètre courant d'ouverture, de 1 250 kilogrammes.

Les maçonneries des culées ont coûté 5 350 francs, les voûtes en briques et la chaussée 1 850 francs; le tablier 7 900 francs. Le prix total de l'ouvrage est donc de 15 100 francs, soit par mètre courant de portée 943 francs.

Il résulte des renseignements qui précèdent que la partie métallique revient par mètre courant de tablier à 448 francs et par mètre carré de surface couverte à 102 francs. Ce dernier prix s'élève à 125 francs lorsqu'il comprend les voûtes en briques et la chaussée.

Épreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves, les flèches constatées ont été de :

	POIDS MORT.	POIDS ROULANT.
	m.	m.
Poutre n. 1.......	0,002	0,0025
— n. 2.......	0,0015	0,00 5

OUVRAGE N° 40.

PASSAGE SUPÉRIEUR SUR LA DÉVIATION DU CHEMIN DU TRUET.

(Pl. 14, *fig.* 23.)

Ce pont est droit; il présente une ouverture de $19^m,80$ entre les culées.

Il est à une seule travée de 20 mètres de portée; le tablier est formé par deux grandes poutres longitudinales à treillis de $21^m,60$ de longueur, formant garde-corps. La distance entre ces deux poutres est de $4^m,35$, dont $2^m,50$ pour la chaussée et $0^m,925$ pour chacun des trottoirs.

Les poutres sont réunies par des entretoises de $0^m,40$ de hauteur, espacées de $1^m,80$ d'axe en axe.

Les poutres ont $2^m,10$ de hauteur; elles sont formées d'une âme évidée de $0^m,008$ d'épaisseur, dont les parties pleines ont $0^m,300$ de hauteur.

Les cornières ont $\frac{80 \times 80}{8}$ et les semelles $0^m,350$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur.

Les treillis sont formés par des fers en U de $\frac{140 \times 52}{8 \times 10}$; ils sont donc à grandes mailles. Cela est avantageux au point de vue de l'aspect et de la facilité de la construction, mais cela a des inconvénients, puisque le treillis doit former garde-corps.

Les entretoises correspondent à chaque montant et sont formées d'une âme de $0^m,008$ et de cornières de $\frac{80 \times 80}{8}$.

La chaussée repose sur des voûtes en briques de $0^m,11$ d'épaisseur, dont les naissances s'appuient sur les cornières inférieures des entretoises. Ces voûtes sont garnies de béton jusqu'à la partie supérieure des entretoises. Une couche

d'asphalte de $0^m,02$, recouvre ce béton et reçoit les eaux pluviales qu'elle amène, au moyen d'une pente légère ménagée à cet effet, jusqu'à la partie antérieure des culées. La chaussée présente une épaisseur moyenne de $0^m,23$; elle est empierrée sur toute sa largeur.

Les trottoirs sont établis sur des voûtes en briques de $0^m,11$ d'épaisseur, dont les naissances s'appuient sur les cornières supérieures des entretoises. Cette épaisseur devrait être réduite de moitié.

Les parties comprises entre les reins de ces voûtes sont remplies par un garnissage en béton sur lequel est établie la couche d'asphalte de $0,^m02$ qui recouvre les trottoirs.

Le poids du tablier métallique est de 26 500 kilogrammes. La longueur totale des poutres étant de $21^m,60$ et l'ouverture entre les culées, de $19^m,80$, le poids par mètre courant de tablier est de 1 227 kilogrammes, et par mètre courant d'ouverture, de 1 338 kilogrammes.

Les maçonneries des culées ont coûté 9 600 francs; les voûtes en briques et chaussée 2 400 francs, et la partie métallique 10 300 francs. Le prix total de l'ouvrage est donc de 22 300 francs, soit par mètre courant de portée 1 115 francs.

Il résulte de ce qui précède, que la partie métallique revient par mètre courant à 477 francs et par mètre carré de surface couverte à 110 francs. Ce dernier prix s'élève à 135 francs lorsqu'il comprend les voûtes en briques et la chaussée.

Ce prix aurait pû être encore réduit en employant des montants formés simplement de quatre cornières accouplées réunissant les deux semelles des grandes poutres. Ce dernier système, ainsi qu'on l'a déjà dit pour l'ouvrage n° 34, donne en effet autant de résistance tout en étant plus léger.

Quoi qu'il en soit, ce tablier construit d'après un projet spécial, est encore plus économique que le type appliqué

pour les ouvrages n[os] 39, 40, 41 et 42, puisqu'il permet de franchir une portée de 20 mètres presque au même prix de revient qu'une portée de 16 mètres avec le type ordinaire.

Épreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves. les flèches constatées ont été de :

	POIDS MORT.	POIDS ROULANT.
	m.	m.
Poutre n. 1......	0,0015	0,0045
— n. 2......	0,0020	0,002

Trois autres ouvrages ont été établis suivant le type E. Leurs dispositions, au point de vue de la coupe transversale, étant semblables à celles des précédents ouvrages dont la description vient d'être donnée, on se bornera à faire connaître leurs principales dimensions, leurs poids et prix de revient, afin d'établir des comparaisons avec d'autres ouvrages construits suivant des systèmes différents.

N° 41. — PASSAGE SUPÉRIEUR DROIT SUR UNE ALLÉE DE LA FORÊT DE MARLY.

(Type ordinaire de la Compagnie.)

Nombre de travées. . . .	1	Hauteur des poutres. . . .	$1^m,76$
Portée de la travée. . . .	$16^m,00$	Distance entre les poutres.	$4^m,40$
Nombre de poutres. . . .	2	Largeur de la chaussée. .	$2^m,40$

Épaisseur du tablier. . . . . $0^m,60$

Poids du tablier métallique. . . . . 20 000 kilog.

soit par mètre courant de tablier $\frac{20\ 000}{17\ 60}$ =. . 1 135 —

et par mètre courant d'ouverture $\frac{20\ 000}{16}$ =. . 1 250 —

Prix des culées.		17 200 francs
Prix du tablier.	7 900	9 950 —
Prix des voûtes en briques et chaussée.	2 050	
Prix total de l'ouvrage.		27 150 francs
soit par mètre courant de portée.		1 695 —

La partie métallique revient par mètre courant à. . . . . 448 francs

et par mètre carré de surface couverte	y compris voûtes en briques et chaussée à	128 —
	non compris voûtes en briques et chaussée à	102 —

ÉPREUVES.

	Poutre n. 1	Poutre n. 2
Poids mort.	0,0015	0,002
Poids roulant.	0,002	0,002

N° 42. — PASSAGE SUPÉRIEUR DROIT SUR LA ROUTE DE LA MARE-AUX-BOEUFS.

(Type ordinaire de la Compagnie.)

Nombre de travées.	1	Hauteur des poutres. . . .	1m,76
Portée de la travée. . . .	16m,00	Distance entre les poutres.	4m,40
Nombre de poutres.. . . .	2	Largeur de la chaussée. . .	2m,40

Épaisseur du tablier. . . . 0m,60

Poids du tablier métallique. . . . . 20 500 kilog.

soit par mètre courant de tablier $\frac{20\,500}{17,6}$ =. . 1 164 —

et par mètre courant d'ouverture $\frac{20\,500}{16}$ =. . 1 281 —

Prix des culées.		6 800 francs
Prix du tablier.	8 050	9 930 —
Prix des voûtes et de la chaussée. .	1 880	
Prix total de l'ouvrage.		16 730 francs
soit par mètre courant de portée.		1 045 —

La partie métallique revient par mètre courant à. . . . . 457 francs

et par mètre carré de surface couverte { y compris voûtes en briques et chaussée à 128 —
non compris voûtes en briques et chaussée à 103 — }

ÉPREUVES.

	Poutre n. 1	Poutre n. 2
Poids mort.	0,0025	0,0025
Poids roulant.	0,002	0,001

N° 43. — PASSAGE SUPÉRIEUR SUR LE CHEMIN DE SARTROUVILLE A HOUILLES.

(Type ordinaire de la Compagnie)

Nombre de travées.	1	Hauteur des poutres. . . .	$1^m,76$
Portée de la travée.	$16^m,00$	Distance entre les poutres.	$4^m,40$
Nombre de poutres. . . .	2	Largeur de la chaussée. .	$2^m,40$

Epaisseur du tablier. . . . $0^m,60$

Poids du tablier métallique. . . . . 20 500 kilog.

soit par mètre courant de tablier $\frac{20\,500}{17,6}$ =. . 1 164 —

et par mètre courant d'ouverture $\frac{20\,500}{16}$ =. . 1 281 —

Prix des culées.		7 000 francs
Prix du tablier métallique.	7 900	9 800 —
Prix des voûtes et de la chaussée . .	1 900	
Prix total de l'ouvrage.		16 800 francs
soit par mètre courant de portée.		1 050 —

La partie métallique revient par mètre courant à . . . . . 449 francs

et par mètre carré de surface couverte { y compris voûtes en briques et chaussée, à 127 —
{ non compris voûtes en briques et chaussée, à 102 —

ÉPREUVES.

	Poutre n. 1	Poutre n. 2
Poids mort.	0,002	0,0025
Poids roulant.	0,0025	0,003

Type F.

Dans ce système, applicable à des largeurs entre garde-corps comprises entre 6 et 10 mètres, le platelage repose par l'intermédiaire de fortes entretoises, sur deux poutres de rive à âme pleine placées en contre-bas du niveau de la chaussée. Par ce fait, la portée de ces ponts est limitée ou doit être subdivisée en plusieurs travées.

OUVRAGE N° 44.

PASSAGE SUPÉRIEUR SUR LE CHEMIN D'INTÉRÊT COMMUN N° 18.
(Pl. 14, *fig.* 22.)

Ce pont est biais. L'ouverture normale est de 16 mètres, l'ouverture biaise est de $16^m,226$.

L'ouvrage est composé de trois travées; les deux travées extrêmes ont 4 mètres de portée et la travée intermédiaire 8 mètres.

Les palées sont formées de colonnes en fonte de $0^m,30$ de diamètre à la base; $0^m,25$ au sommet, et présentant une épaisseur de $0^m,025$.

Les chapiteaux sur lesquels reposent les poutres ont $0^m,55$ de côté à leur partie supérieure.

La distance comprise entre les garde-corps est de 6 mètres, dont $4^m,80$ pour la chaussée et $0^m,60$ pour chacun des trottoirs.

Le tablier métallique, dont l'épaisseur est de $0^m,91$, se compose de deux poutres longitudinales de $18^m,30$ de longueur, espacées entre elles de $5^m,626$ d'axe en axe et réunies par des entretoises espacées elles-mêmes de $1^m,900$.

Les deux poutres longitudinales ont $0^m,900$ de hauteur; elles sont formées d'une âme pleine de $0^m,008$, de cornières

de $\frac{90 \times 90}{10}$ et de semelles de $0^m,300$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur.

Les entretoises présentent une hauteur de $0^m,400$; elles sont formées d'une âme de $0^m,008$, de cornières de $\frac{80 \times 80}{10}$ et de semelles de $0^m,300$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur.

Les trottoirs, dont la largeur est très réduite, reposent partie sur les semelles supérieures des poutres longitudinales et partie sur les voûtes en briques.

Ces trottoirs sont constitués par un garnissage en béton recouvert d'une couche d'asphalte.

La chaussée repose sur des voûtes en briques de $0^m,11$ d'épaisseur, dont les naissances s'appuient sur les cornières inférieures des entretoises. Des gargouilles sont placées à la partie supérieure des voûtes afin de faciliter l'écoulement des eaux pluviales amenées en ces points par des plans inclinés formés d'une couche d'asphalte de $0^m,02$, recouvrant les voûtes en briques par l'intermédiaire d'un garnissage en béton.

La chaussée est pavée sur toute sa largeur.

Le poids du tablier métallique est de 27 850 kilogrammes, dont 21 700 kilogrammes pour les fers et 6 150 kilogrammes pour les fontes. La longueur totale des poutres étant de $18^m,30$ et l'ouverture biaise entre les culées de $16^m,226$, le poids par mètre courant de tablier est de 1 521 kilogrammes, et par mètre courant d'ouverture 1 716 kilogrammes.

Les maçonneries des culées ont coûté 7 800 francs, les voûtes en briques et la chaussée 4 200 francs et le tablier métallique 12 500 francs. Le prix total de l'ouvrage est donc de 24 500 francs, soit par mètre courant de portée 1 433 francs. La partie métallique revient à 683 francs par mètre courant et à 113 francs par mètre carré de surface couverte.

Ce dernier prix s'élève à 151 francs lorsqu'il comprend les voûtes en briques et la chaussée.

On verra par la comparaison des poids et prix de revient, que ce tablier est plus cher que les types de passages supérieurs (Pl. 14, *fig.* 23) dont la description a été donnée page 508, bien que pour franchir une portée sensiblement la même, cet ouvrage spécial comporte des points d'appui intermédiaires, tandis que l'ouvrage type franchit la distance totale d'une seule volée.

Cela tient au grand écartement des poutres longitudinales, qui entraine l'emploi de fortes entretoises.

Ce système est donc à éviter et il y aura lieu, toutes les fois qu'on aura à établir un tablier dans les conditions analogues à celles où s'est trouvé l'ouvrage n° 44, d'ajouter une troisième poutre sous chaussée, dont le poids sera largement compensé par l'économie qu'on réalisera sur les entretoises, dont la portée sera ainsi réduite de moitié.

On arrive ainsi au type G, qui constitue la solution la plus avantageuse.

Épreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves, les flèches constatées ont été de :

	POIDS MORT.			POIDS ROULANT.		
	1re travée.	2e travée.	3e travée.	1re travée.	2e travée.	3e travée.
	m.	m.	m.	m	m.	m.
Poutre n. 1	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000
— n. 2..	0,000	0,0015	0,000	0,000	0,0017	0,000
	Les travées chargées isolément.					

OUVRAGE N° 45.

PASSAGE SUPÉRIEUR SUR LE CHEMIN DES BŒUFS.

(Pl. 14, *fig.* 24 et 25.)

Ce pont est droit; il présente une ouverture de $33^m,76$ entre les culées.

Il est composé de trois travées; les deux travées extrêmes ont $10^m,70$ d'ouverture et la travée intermédiaire $11^m,70$.

Les palées sont formées de colonnes en fonte de $0^m,40$ de diamètre à la base, $0^m,325$ au sommet, et présentant une épaisseur de $0^m,030$.

Les chapiteaux sur lesquels reposent les poutres ont $0^m,70$ de côté, mais la longueur de la portée n'est que de $0^m,50$.

La distance comprise entre les garde-corps est de 10 mètres, dont 6 mètres pour la largeur de la chaussée et 2 mètres pour la largeur de chaque trottoir.

Le tablier métallique se compose de deux poutres longitudinales de $35^m,67$ de longueur, espacées entre elles de $6^m,900$ d'axe en axe, et réunies par des entretoises espacées elles-mêmes de $1^m,75$.

Les deux poutres longitudinales ont 1 mètre de hauteur; elles sont formées d'une âme pleine de $0^m,012$, de cornières de $\frac{90 \times 90}{10}$ et de semelles de $0^m,400$ de largeur sur 0,010 d'épaisseur.

Les entretoises présentent une hauteur de $0^m,550$; elles sont formées d'une âme de $0^m,010$, de cornières de $\frac{90 \times 90}{10}$ et de semelles de $0^m,300$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur.

Les trottoirs sont supportés par des consoles en encorbellement, correspondant à chaque cours d'entretoises, et

réunies entre elles par un fer en U de 0^m,300 de hauteur, composé de cornières et de fers plats, sur lequel sont fixés les montants de garde-corps.

Des briques posées à plat reposent sur les ailes de fers à T de $\frac{100 \times 60}{8}$, rivés à la partie supérieure des consoles, et supportent les couches de béton et d'asphalte qui constituent les trottoirs.

La chaussée repose sur des voûtes en briques de 0^m,11 d'épaisseur, dont les naissances s'appuient sur des cornières spéciales rivées contre les entretoises.

Ces voûtes sont recouvertes de béton ; à leur partie supérieure sont placées des gargouilles pour faciliter l'écoulement des eaux pluviales, amenées en ces points par des plans inclinés formés d'une couche d'asphalte de 0^m,02 d'épaisseur qui recouvre les voûtes sur toute leur surface.

La chaussée est empierrée ; deux caniveaux pavés de 0^m,80 sont placés de chaque côté, contre les bordures des trottoirs.

Les observations présentées à propos de l'ouvrage n° 44, et qui avaient pour objet de montrer l'économie que présentent sur les ponts à deux poutres, les systèmes en comportant trois ou quatre pour une même largeur, sont également applicables pour l'ouvrage n° 45, qui a été établi suivant le même type.

Le poids de la partie métallique est de 92 078 kilogrammes, dont 81 656 kilogrammes pour les fers et 10 422 kilogrammes pour les fontes.

La longueur totale des poutres étant de 35^m,67, et la distance entre les culées de 33^m,76, le poids par mètre courant de tablier est de 2 581 kilogrammes, et par mètre courant d'ouverture, de 2 727 kilogrammes.

Les maçonneries des culées ont coûté 23 500 francs, les voûtes en briques et la chaussée 8 500 francs, et la partie métallique 43 830 francs.

Le prix total de l'ouvrage est donc de 75 830 francs, soit par mètre courant de portée 2 223 francs.

Il résulte des renseignements qui précèdent que la partie métallique revient à 1 228 francs par mètre courant de tablier, et à 123 francs par mètre carré de surface couverte.

Ce dernier prix s'élève à 147 francs lorsqu'il comprend les voûtes en briques et la chaussée.

Épreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves, les flèches constatées ont été de :

	POIDS MORT.			POIDS ROULANT.		
	1re travée.	2e travée.	3e travée.	1re travée.	2e travée.	3e travée.
	m.	m.	m.	m.	m.	m.
Poutre n. 1......	0,0015	0,00125	0,001	0,001	0,0025	0,0015
— n. 2......	0,0025	0,001	0,001	0,001	0,0012	0,0015
	Les travées chargées isolément.					

Type G.

Dans ce système, applicable à toutes les largeurs entre garde-corps supérieures à 10 mètres, le platelage repose sur un certain nombre de poutres placées sous la chaussée. Deux poutres de rive sont disposées sous les trottoirs qui sont portés, partie par ces poutres et partie par des consoles.

OUVRAGE N° 46.

PASSAGE SUPÉRIEUR SUR LA ROUTE NATIONALE N° 190, DE PARIS A MANTES.

Ce pont est biais. L'ouverture droite est de $8^m,25$ et l'ouverture biaise $8^m,73$. Il est à une seule travée.

Il présente une largeur de 14 mètres entre garde-corps, dont 9 mètres pour la chaussée et $2^m,50$ pour chacun des trottoirs.

La hauteur verticale entre le dessus de la chaussée et le dessous des poutres est de 1 mètre.

Le tablier métallique se compose de sept poutres longitudinales ayant chacune $10^m,20$ de longueur et 9 mètres de portée ; ces poutres sont espacées entre elles de $1^m,80$ d'axe en axe et réunies par des entretoises espacées elles-mêmes de $1^m,80$.

Les deux poutres de rive ont $0^m,850$ de hauteur ; elles sont formées d'une âme pleine de $0^m,008$ d'épaisseur, de cornières de $\frac{80 \times 80}{12}$, et d'une semelle de $0^m,250$ de largeur sur 0,01 d'épaisseur.

Les cinq poutres intermédiaires ont $0^m,600$ de hauteur ; elles sont formées d'une âme pleine de $0^m,008$ d'épaisseur,

de cornières de $\frac{80 \times 80}{11}$, et de semelles de $0^m,300$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur.

Les entretoises sont formées d'une âme de $0^m,250$ de hauteur, de $0^m,007$ d'épaisseur et de cornières de $\frac{80 \times 60}{11}$.

Les trottoirs sont supportés, partie par des voûtes en briques dont les naissances s'appuient sur les cornières supérieures des entretoises, et partie par des consoles correspondant à chaque cours d'entretoises. Ces consoles sont réunies entre elles par un fer en U de $\frac{250 \times 80}{10 \times 11}$, sur lequel sont fixés les montants de garde-corps.

Des briques à plat sont posées sur les ailes de fers à T de $\frac{100 \times 60}{8}$ rivés à la partie supérieure des consoles et supportent les couches de béton et d'asphalte qui constituent les trottoirs.

La chaussée repose sur des voûtes en briques de $0^m,11$ d'épaisseur dont les naissances s'appuient sur les cornières inférieures des entretoises.

Les reins de ces voûtes sont garnis en béton recouvert d'une couche d'asphalte de $0^m,02$. Cette couche d'asphalte reçoit les eaux pluviales et les amène, au moyen d'une pente légère ménagée à cet effet, jusqu'à la partie antérieure des culées.

La chaussée est pavée sur toute sa largeur.

Le poids de la partie métallique est de 26 200 kilogrammes. La longueur totale des poutres étant de $10^m,20$ et l'ouverture biaise entre les culées de $8^m,734$, le poids par mètre courant de tablier est de 2 568 kilogrammes, et par mètre courant d'ouverture, de 3 000 kilogrammes.

Les maçonneries des culées ont coûté 32 000 francs, les voûtes en briques et chaussée 5 200 francs, le tablier 10 300 francs.

Le prix total de l'ouvrage est donc de 47 500 francs, soit par mètre courant de portée 5 278 francs.

La partie métallique revient par mètre courant à 1 009 francs, et par mètre carré de surface couverte à 72 francs.

Ce dernier prix s'élève à 108 francs lorsqu'il comprend les voûtes en briques et la chaussée.

Ces prix sont un peu élevés, eu égard à la portée, puisqu'on verra plus loin que la superstructure métallique d'un ouvrage analogue (passage supérieur sur la route nationale n° 3, de Paris à Mayence), dont la portée est de $11^m,20$, a été établie au prix de 78 francs.

Cette différence tient à ce qu'on ne disposait que d'une épaisseur de tablier de 1 mètre pour la route n° 190, tandis que pour le pont de la route nationale n° 3, cette épaisseur a pu être portée à $1^m,36$.

Il en est résulté que dans le premier de ces ouvrages, on a dû augmenter le nombre de poutres, ce qui a entraîné une augmentation du prix de revient :

Épreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves, les flèches constatées ont été de:

	POIDS MORT.	POIDS ROULANT.
	m.	m.
Poutre n. 1......	0,0005	0,001
— n. 2......	0,001	0,002
— n. 3......	0,003	0,0026
— n. 4......	0,0005	0,004
— n. 5......	0,001	0,002
— n. 6......	0,0015	0,001
— n. 7......	0,00	0,001

OUVRAGE N° 47.

PASSAGE SUPÉRIEUR SUR LA ROUTE NATIONALE N° 3, DE PARIS A MAYENCE.

Ce pont est biais. L'ouverture droite est de $8^m,10$ et l'ouverture biaise $10^m,584$. Il est à une seule travée.

Il présente une largeur de 10 mètres entre garde-corps, dont 7 mètres pour la chaussée et $1^m,50$ pour chacun des trottoirs.

La hauteur verticale entre le dessus de la chaussée et le dessous des poutres est de $1^m,36$.

Le tablier métallique se compose de quatre poutres longitudinales ; les poutres de rive ont $13^m,83$ de longueur, et les poutres intermédiaires $14^m,99$. Ces poutres ont $11^m,20$ de portée ; elles sont espacées entre elles de $1^m,80$ d'axe en axe et réunies par des entretoises espacées elles-mêmes de $1^m,80$.

Les deux poutres de rive ont $0^m,700$ de hauteur ; elles sont formées d'une âme de $0^m,010$ d'épaisseur, de cornières de $\frac{100 \times 100}{11,5}$ et de semelles de $0^m,350$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur.

Les deux poutres intermédiaires ont $0^m,700$ de hauteur ; elles sont formées d'une âme de $0^m,010$, de cornières de $\frac{100 \times 100}{11,5}$ et de semelles de $0^m,400$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur.

Les entretoises ont $0^m,450$ de hauteur ; elles sont formées d'une âme de $0^m,010$ et de cornières de $\frac{90 \times 90}{10}$.

Les trottoirs sont supportés, partie par les voûtes en briques et partie par des consoles correspondant à chaque cours d'entretoises. Ces consoles sont réunies entre elles

par un fer en U de $\frac{250 \times 80}{10 \times 11}$, sur lequel sont fixés les montants de garde-corps. Des briques à plat, posées sur les ailes de fers à T de $\frac{100 \times 60}{8}$, rivés sur la partie supérieure des consoles, supportent ainsi les couches de béton et d'asphalte qui constituent les trottoirs.

La chaussée repose sur des voûtes en briques de $0^m,11$ d'épaisseur, dont les reins sont garnis en béton. Cette maçonnerie est recouverte par une couche d'asphalte de $0^m,02$. Des gargouilles sont placées à la partie supérieure des voûtes pour faciliter l'écoulement des eaux pluviales.

La chaussée est pavée sur toute sa largeur.

Le poids de la partie métallique est de 30 000 kilogrammes. La longueur totale des poutres étant de 15 mètres et l'ouverture biaise entre les culées de $10^m,584$, le poids par mètre courant de tablier est de 2 000 kilogrammes, et par mètre courant d'ouverture, de 2 834 kilogrammes.

Les maçonneries des culées ont coûté 43 000 francs; les voûtes en briques et chaussée 5 500 francs; la partie métallique 11 700 francs. Le prix total de l'ouvrage est donc de 60 200 francs, soit 5 375 francs par mètre courant de portée. La partie métalllique revient à 780 francs par mètre courant, et à 78 francs par mètre carré de surface couverte. Ce dernier prix s'élève à 114 francs lorsqu'il comprend les voûtes en briques et la chaussée.

Épreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves, les flèches constatées ont été de :

	POIDS MORT.	POIDS ROULANT.
	m.	m.
Poutre n. 1.......	0,0025	0,002
— n. 2.......	0,0035	0,0025
— n. 3.......	0,003	0,001
— n. 4.......	0,0015	0,002

OUVRAGE N° 48.

PASSAGE SUPÉRIEUR SUR LA ROUTE DÉPARTEMENTALE N° 24, DE PARIS A MEAUX.

Ce pont est biais. L'ouverture droite est de $16^m,30$; l'ouverture biaise de $17^m,21$.

L'ouvrage est composé de deux travées de $8^m,50$ d'ouverture chacune. Il comporte donc une palée médiane qui est formée de colonnes en fonte semblables à celles de l'ouvrage n° 24, dont la description a été donnée page 475.

La distance comprise entre les garde-corps est de 12 mètres, dont 7 mètres pour la chaussée et $2^m,50$ pour chacun des trottoirs.

Le tablier métallique se compose de cinq poutres longitudinales de $18^m,60$ de longueur, espacées entre elles de $2^m,433$ et réunies par des entretoises espacées elles-mêmes de $1^m,60$.

Les deux poutres de rive ont $0^m,850$ de hauteur; elles sont formées d'une âme pleine de $0^m,008$, de cornières de $\frac{80 \times 80}{8}$ et de semelles de $0^m,300$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur.

Les trois poutres intermédiaires ont $0^m,600$ de hauteur; elles sont formées d'une âme de $0^m,008$, de cornières de $\frac{90 \times 90}{10}$ et de semelles de $0^m,300$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur.

Quant aux entretoises, elles présentent une hauteur de $0^m,400$, et sont formées d'une âme de $0^m,007$ et de cornières de $\frac{60 \times 80}{10}$.

Les trottoirs en encorbellement sont supportés, partie par des voûtes en briques de $0^m,055$ d'épaisseur dont les naissances s'appuient sur les cornières supérieures des en-

tretoises, et partie par des consoles distantes entre elles de $1^m,60$ et réunies par un fer en U de $\frac{300 \times 75}{10 \times 10}$ sur lequel sont fixés les montants de garde-corps.

Des fers à T de $\frac{100 \times 60}{8}$ et des cornières de $\frac{60 \times 60}{7}$ sont rivés sur ces consoles à leur partie supérieure. Des briques à plat sont posées sur les ailes de ces fers et supportent ainsi les couches de béton et d'asphalte qui constituent les trottoirs.

La chaussée repose sur des voûtes en briques de $0^m,11$ d'épaisseur, dont les reins sont remplis par un garnissage en béton. Cette maçonnerie est recouverte par une couche générale d'asphalte de $0^m,02$ d'épaisseur qui reçoit les eaux pluviales et les amène au moyen d'une pente légère, ménagée à cet effet, jusqu'à la partie antérieure des culées.

La chaussée est empierrée. Deux caniveaux pavés de $0^m,60$ de largeur sont établis le long des bordures de trottoirs.

Le poids de la partie métallique est de 41 800 kilogrammes, dont 34 200 kilogrammes pour les fers, et 7 600 kilogrammes pour les fontes.

La longueur totale des poutres étant de $18^m,60$ et l'ouverture biaise entre les culées de $17^m,21$, le poids par mètre courant du tablier métallique est de 2 247 kilogrammes, et par mètre courant d'ouverture de 2 428 kilogrammes.

Les maçonneries des culées et des palées ont coûté 33 600 francs; les voûtes en briques et la chaussée 6 000 francs, et la partie métallique 15 200 francs. Le prix total de l'ouvrage est donc de 54 800 francs, soit 3 131 francs par mètre courant de portée.

Il résulte des renseignements qui précèdent, que la partie métallique revient par mètre courant à 817 francs, et

par mètre carré de surface couverte à 68 francs. Ce dernier prix s'élève à 95 francs lorsqu'il comprend les voûtes en briques et la chaussée.

Épreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves, es flèches constatées ont été de :

	POIDS MORT.		POIDS ROULANT.	
	1re travée.	2e travée.	1re travée.	2e travée.
	m.	m	m	m.
Poutre n. 1......	0,001	0,001	0,001	0,001
— n. 2......	0,003	0,001	0,003	0,001
— n. 3......	0,002	0,0017	0,002	0,0017
— n. 4......	0,001	0,0015	0,001	0,0015
— n. 5......	0,0015	0,002	0,0015	0,002
	Les travées chargées isolément.			

OUVRAGE N° 49.

PASSAGE SUPÉRIEUR SUR LA ROUTE NATIONALE N° 10, DE PARIS A BAYONNE.

(Pl. 15, *fig.* 29 et 30.)

Ce pont est biais. L'ouverture droite est de 16 mètres. L'ouverture biaise est de $18^m,12$.

L'ouvrage est composé de trois travées; les deux travées extrêmes ont $4^m,44$ d'ouverture chacune, et les travées intermédiaires $8^m,88$.

Les palées sont formées de colonnes en fonte de $0^m,30$ de diamètre à la base, $0^m,25$ au sommet et présentent une épaisseur de $0^m,025$.

Les chapiteaux sur lesquels reposent les poutres ont $0^m,52$ de côté.

La distance comprise entre les garde-corps est de 13 mètres, dont 10 mètres pour la chaussée et $1^m,50$ pour chacun des trottoirs.

Le tablier métallique se compose de cinq poutres longitudinales de $21^m,02$ de longueur, espacées entre elles de $2^m,946$ d'axe en axe, et réunies par des entretoises de $0^m,400$ de hauteur, espacées elles-mêmes de $1^m,567$.

Les deux poutres de rive ont $0^m,800$ de hauteur; elles sont formées d'une âme pleine de $0^m,008$ d'épaisseur et de cornières de $\frac{90 \times 90}{10}$.

Les trois poutres intermédiaires ont $0^m,650$ de hauteur; elles sont formées d'une âme pleine de $0^m,008$ d'épaisseur, de cornières de $\frac{90 \times 90}{10}$ et de semelles de $0^m,25$ de largeur sur $0^m,01$ d'épaisseur.

Les trottoirs en encorbellement sont supportés, partie par les voûtes en briques et partie par des consoles correspondant à chaque cours d'entretoises.

Ces consoles sont réunies entre elles par un fer en U de $\frac{175 \times 60}{8 \times 10}$ posé de champ, sur lequel sont fixés les montants de garde-corps.

Des fers à T de $\frac{100 \times 60}{8}$ et des cornières de $\frac{80 \times 60}{7}$ sont rivés sur ces consoles à leur partie supérieure. Des briques à plat sont posées sur les ailes de ces fers et supportent ainsi les couches de béton et d'asphalte qui constituent les trottoirs.

La chaussée repose sur des voûtes en briques de $0^m,11$ d'épaisseur, dont les reins sont remplis par un garnissage en béton. Cette maçonnerie est recouverte par une couche d'asphalte de $0^m,02$. Des gargouilles sont placées à la partie supérieure des voûtes pour faciliter l'écoulement des eaux pluviales.

La chaussée est pavée à droite et à gauche sur 2m,50 de largeur; au milieu et sur une largeur de 5 mètres elle est empierrée.

Le poids du tablier métallique est de 50 000 kilogrammes, dont 35 500 pour les fers et 14 500 pour les fontes. La longueur totale des poutres étant de 21m,02 et l'ouverture biaise entre les culées de 18m,12, le poids par mètre courant de tablier est de 2 378 kilogrammes, et par mètre courant d'ouverture de 2 758 kilogrammes.

Les maçonneries des culées ont coûté 20 700 francs; les voûtes en briques 9 600 francs, et le tablier métallique 17 800 francs. Le prix total de l'ouvrage est donc de 48 100 francs, soit 2 560 francs par mètre courant de portée.

La partie métallique revient par mètre courant à 846 francs et par mètre carré de surface couverte à 65 francs. Ce dernier prix s'élève à 100 francs lorsqu'il comprend les voûtes en briques et la chaussée.

Quoique ce type de tablier soit des plus économiques, le prix de revient aurait pu être encore réduit, en donnant un plus grand porte à faux aux consoles des trottoirs. En rapprochant ainsi les poutres de rive contre les bordures de la chaussée, on aurait réalisé sur les voûtes en briques qui eussent été moins longues, et sur le béton de garnissage des trottoirs dont le cube eût été réduit, une économie très appréciable.

Épreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves, les flèches constatées ont été de :

	POIDS MORT.			POIDS ROULANT		
	1re travée.	2e travée.	3e travée.	1re travée.	2e travée.	3e travée.
	m.	m.	m.	m.	m.	m.
Poutre n. 1. .	+ 0,0002	— 0,0013	+ 0,0002	— 0,0002	— 0,0020	— 0,0005
— n. 2. .	+ 0,0002	— 0,0015	+ 0,0002	— 0,0008	— 0,0024	— 0,0014
— n. 3. .	+ 0,0002	— 0,0016	+ 0,0002	— 0,0009	— 0,0028	— 0,0013
— n. 4. .	+ 0,0002	— 0,0015	+ 0,0002	— 0,0014	— 0,0037	— 0,0022
— n. 5. .	+ 0,0002	— 0,0013	+ 0,0002	— 0,0008	— 0,0035	— 0,0006
	La charge étant placée sur la travée n° 2.					

OUVRAGE N° 50.

PASSAGE SUPÉRIEUR SUR LA ROUTE DÉPARTEMENTALE N° 23, DE PARIS A BONDY.

(Pl. 15, *fig.* 28.)

Cet ouvrage a été construit suivant les mêmes dispositions que le passage supérieur sur la route départementale n° 24 dont la description a été donnée page 524. La seule différence consiste en ce que le premier ouvrage, ayant 12 mètres de largeur, est composé de cinq poutres, tandis que le pont sur la route départementale n° 23 n'ayant que 10 mètres seulement, le nombre de poutres a été réduit à quatre.

Ce pont est biais. L'ouverture droite est de 16m,30; l'ouverture biaise est de 18m,214.

L'ouvrage est composé de deux travées de 9 mètres d'ouverture chacune.

Il présente une largeur de 10 mètres entre garde-corps, dont 6 mètres pour la chaussée et 2 mètres pour chacun des trottoirs.

La hauteur verticale entre le dessus de la chaussée et le dessous des poutres est de 1m,03.

La palée est formée de colonnes en fonte semblables à celles de l'ouvrage n° 24 dont la description a été donnée page 475.

Le tablier métallique se compose de quatre poutres longitudinales; les deux poutres de rive ont $20^m,30$ de longueur et les deux poutres intermédiaires $20^m,70$. Ces poutres espacées de $2^m,407$ d'axe en axe sont réunies entre elles par des entretoises espacées elles-mêmes de $1^m,800$.

Les deux poutres de rive ont $0^m,950$ de hauteur; elles sont formées d'une âme pleine de $0^m,008$ d'épaisseur, de cornières de $\frac{80 \times 80}{8}$ et de semelles de $0^m,300$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur.

Les deux poutres intermédiaires ont $0^m,600$ de hauteur; elles sont formées d'une âme pleine de $0^m,008$, de cornières de $\frac{80 \times 80}{8}$ et de semelles de $0^m,300$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur.

Les entretoises ont $0^m,400$ de hauteur; elles sont formées d'une âme de $0^m,008$ et de cornières de $\frac{90 \times 70}{10}$.

Toutes les autres dispositions relatives aux consoles, trottoirs, garde-corps, voûtes et chaussée, sont les mêmes que les dispositions correspondantes de l'ouvrage n° 48.

Le poids de la partie métallique est de 36 000 kilogrammes, dont 31 000 kilogrammes de fers et 5 000 kilogrammes de fontes.

La longueur totale des poutres étant de $20^m,70$ et l'ouverture biaise entre les culées de $18^m,214$, le poids par mètre courant de tablier est de 1 739 kilogrammes, et par mètre courant d'ouverture, de 1 976 kilogrammes.

Les maçonneries des culées ont coûté 30 000 francs, les voûtes en briques et la chaussée 5 500 francs et la partie métallique 13 600 francs.

Le prix total de l'ouvrage est donc de 49 100 francs, soit par mètre courant de portée 2 654 francs.

Il résulte des renseignements qui précèdent que la partie métallique revient par mètre courant à 657 francs, et par mètre carré de surface couverte à 66 francs.

Ce prix s'élève à 92 francs lorsqu'il comprend les voûtes en briques et la chaussée.

Épreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves, les flèches constatées ont été de :

	POIDS MORT.		POIDS ROULANT.	
	1re travée.	2e travée.	1re travée.	2e travée.
	m.	m.	m.	m.
Poutre n. 1	0,002	0,002	0,001	0,002
— n. 2	0,002	0,002	0,003	0,0015
n. 3	0,001	0,002	0,002	0,002
— n. 4	0,002	0,002	0,0015	0,002
	Les travées chargées isolément.			

OUVRAGE N° 51.

PASSAGE SUPÉRIEUR SUR LA RUE NEUVE-D'HENNEMONT.

Ce pont est biais. L'ouverture droite est de $18^m,90$; l'ouverture biaise de $19^m,05$.

L'ouvrage est composé de trois travées ; les deux travées extrêmes ont $5^m,20$ d'ouverture et la travée intermédiaire $7^m,80$.

Il présente une largeur de 10 mètres entre garde-corps, dont 7 mètres pour la chaussée et $1^m,50$ pour chacun des trottoirs.

Les palées sont formées de colonnes en fonte semblables

à celles du passage supérieur de la route nationale n° 10, dont les dimensions ont été données dans la description de cet ouvrage, page 526.

Le tablier, dont l'épaisseur est de $0^m,89$, se compose de quatre poutres longitudinales ayant chacune $20^m,50$ de longueur; elles sont espacées entre elles de $2^m,67$ d'axe en axe et sont réunies par des entretoises espacées elles-mêmes de $1^m,67$.

Les deux poutres de rive ont $0^m,750$ de hauteur; elles sont formées d'une âme pleine de $0^m,008$, de cornières de $\frac{80 \times 80}{8}$ et de semelles de $0^m,25$ de largeur sur $0^m,01$ d'épaisseur.

Les deux poutres intermédiaires ont $0^m,550$ de hauteur; elles sont composées d'une âme de $0^m,008$, de cornières de $\frac{80 \times 80}{8}$ et de semelles de $0^m,250$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur.

Les entretoises sont formées d'une âme de $0^m,400$ de hauteur, de $0^m,008$ d'épaisseur et de cornières de $\frac{90 \times 70}{10}$.

Les trottoirs sont supportés par des consoles en encorbellement correspondant à chaque cours d'entretoises; elles sont réunies entre elles par un fer en U de $\frac{250 \times 80}{10 \times 11}$ sur lequel sont fixés les montants de garde-corps.

Les trottoirs et les voûtes en briques sont établis suivant la disposition adoptée pour l'ouvrage n° 49, dont la description a été donnée, à cette différence près qu'il n'a été possible, par suite de la faible épaisseur de tablier dont on disposait, de placer une gargouille au sommet de chaque voûte pour y amener les eaux pluviales au moyen de plans inclinés. On a dû recouvrir les voûtes d'une chape générale en asphalte de $0^m,02$ d'épaisseur, disposée comme il a été dit pour l'ouvrage n° 46, page 520.

La chaussée ne présente que $0^{m},23$ d'épaisseur et est empierrée sur toute sa largeur.

Le poids du tablier métallique est de 41 000 kilogrammes, dont 29 000 kilogrammes pour les fers et 12 000 kilogrammes pour les fontes. La longueur totale des poutres étant de $20^{m},50$ et l'ouverture entre les culées de $19^{m},05$, le poids par mètre courant de tablier est de 2 000 kilogrammes et par mètre courant d'ouverture de 2624 kilogrammes.

Les maçonneries des culées ont coûté 13 100 francs, les voûtes en briques et la chaussée 4 200 francs, et la partie métallique 14 500 francs.

Le prix total de l'ouvrage est donc de 31 800 francs, soit par mètre courant de portée, 1647 francs.

La partie métallique revient par mètre courant à 707 francs et par mètre carré de surface couverte à 70 francs.

Ce prix s'élève à 91 francs lorsqu'il comprend les voûtes en briques et la chaussée.

Ce prix, un peu élevé, tient à ce qu'on n'a pu donner qu'une hauteur relativement faible aux poutres longitudinales.

Épreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves, les flèches constatées ont été de :

	POIDS MORT.			POIDS ROULANT.		
	1re travée.	2e travée.	3e travée.	1re travée.	2e travée.	3e travée.
	m.	m.	m.	m.	m.	m.
Poutre n. 1.......	0,00	0,0015	0,00	0,001	0,001	0,001
— n. 2.......	0,001	0,002	0,0015	0,001	0,001	0,001
— n. 3.......	0,0015	0,0025	0,0015	0,001	0,0025	0,002
— n. 4.......	0,002	0,002	0,00	0,00	0,001	0,000
	Les travées chargées isolément.					

OUVRAGE N° 52.

PASSAGE SUPÉRIEUR SUR LA ROUTE DÉPARTEMENTALE N° 7, DE SAINT-DENIS A HÉROUVILLE. (Pl. 15, *fig.* 31 et 32.)

Ce pont, qui est droit, présente une ouverture de $18^m,80$ il se compose de trois travées; les deux travées extrêmes ont 5 mètres de portée et la travée intermédiaire 8 mètres.

Les palées sont formées de colonnes en fonte de $0^m,30$ de diamètre à la base, $0^m,25$ au sommet et présentent une épaisseur de $0^m,025$.

Les chapiteaux sur lesquels reposent les poutres, ont $0^m,50$ de côté à leur partie supérieure.

Indépendamment de la chaussée et des trottoirs, l'ouvrage se compose d'une passerelle de 3 mètres de largeur, qui fait communiquer la station d'Epinay avec les quais à voyageurs.

La distance comprise entre les garde-corps est de $13^m,25$, dont 6 mètres pour la chaussée, 2 mètres pour chacun des trottoirs et $3^m,25$ pour la passerelle.

Le tablier métallique se compose de six poutres, dont deux poutres à treillis pour la passerelle et quatre poutres à âmes pleines pour la chaussée et les trottoirs.

Les poutres de la passerelle qui forment garde-corps, ont une hauteur telle qu'elles peuvent franchir la distance séparant les culées sans le secours d'aucun point d'appui intermédiaire. Elles ont de ce fait une portée de 19 mètres.

Ces deux poutres, dont la longueur est de $20^m,40$, présentent des dimensions différentes, en raison des charges inégales qu'elles ont à supporter. La poutre de rive a $1^m,80$ de hauteur; elle est formée de treillis qui s'attachent à leurs parties supérieure et inférieure sur des fers à T de $\frac{150 \times 100}{11}$, renforcés d'une semelle de 0^m150 de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur.

L'autre poutre de la passerelle a également $1^m,80$ de hauteur ; elle présente les mêmes dispositions, mais elle est formée de fers à T de $\frac{200 \times 100}{15}$, renforcés par une semelle de $0^m,200$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur.

Ces deux poutres, espacées de $3^m,25$ d'axe en axe, sont reliées par des entretoises en fer double T laminé de $\frac{200 \times 90}{8}$ espacées de $1^m,70$.

Des voûtes en briques de $0^m,055$ d'épaisseur, reposent sur les ailes inférieures de ces entretoises et sont garnies sur les reins d'un remplissage en béton que recouvre une chape d'asphalte de $0^m,02$ sur laquelle s'effectue la circulation des piétons. Le tablier du passage supérieur proprement dit se compose de quatre poutres de $10^m,40$ de longueur, espacées de $2^m,50$ d'axe en axe et réunies par des entretoises espacées elles-mêmes de $1^m,80$.

Les deux poutres de rive ont $0^m,900$ de hauteur ; elles sont formées d'une âme de $0^m,010$ et de cornières de $\frac{80 \times 80}{8}$

Les deux poutres intermédiaires ont $0^m,600$ de hauteur ; elles sont formées d'une âme de $0^m,008$, de cornières de $\frac{80 \times 80}{11}$ et de semelles de $0^m,300$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur.

Les entretoises ont $0^m,400$ de hauteur ; elles sont formées d'une âme de $0^m,007$ et de cornières de $\frac{90 \times 70}{7}$.

Le trottoir opposé à la passerelle est en encorbellement et repose sur des consoles espacées de $1^m,80$, réunies par un fer en U de $\frac{250 \times 80}{10 \times 11}$ sur lequel sont fixés les montants de garde-corps.

De petits fers à T de $\frac{100 \times 60}{8}$, régnant d'un bout à l'au-

tre des trottoirs, sont rivés sur les consoles et supportent des briques posées à plat, formant le platelage des trottoirs. Par-dessus ces briques on a répandu une légère couche de béton que recouvre une couche d'asphalte de $0^m,02$ d'épaisseur.

Quant au trottoir accolé à la passerelle, il repose sur de petites entretoises en fer à double T laminé, de $\frac{200 \times 90}{8}$, s'appuyant d'une part sur la poutre intermédiaire de la passerelle, et d'autre part sur la poutre de rive du tablier du passage supérieur.

Des voûtes en briques de $0^m,055$ d'épaisseur reposent sur les ailes inférieures de ces entretoises ; elles sont garnies d'un remplissage en béton que recouvre une chape en asphalte de $0^m,02$.

La chaussée repose sur des voûtes en briques de $0^m,11$ d'épaisseur, s'appuyant sur les cornières inférieures des entretoises. Les reins de ces voûtes sont remplis de béton, lequel est recouvert d'une couche d'asphalte de 0^m02 d'épaisseur, qui reçoit les eaux pluviales et les conduit, au moyen d'une pente légère ménagée à cet effet, jusqu'à la partie antérieure des culées.

La chaussée est pavée sur toute sa largeur.

Le poids de la partie métallique est de 43 950 kilogrammes, dont 33 250 kilogrammes pour les fers et 10 700 kilogrammes pour les fontes. La longueur totale des poutres étant de $20^m,40$, et l'ouverture entre les culées de $18^m,80$, le poids par mètre courant de tablier est de 2 154 kilogrammes, et par mètre courant d'ouverture de 2 337 kilogrammes.

Les maçonneries et les fondations des palées ont coûté 35 000 francs ; les voûtes en briques et la chaussée 5 750 francs, et la partie métallique 16 250 francs. Le prix total de l'ouvrage est donc de 57 000 francs, soit 3 000 francs par mètre courant de portée.

La partie métallique revient par mètre courant à 796 francs, et par mètre carré de surface couverte à 59 francs. Ce dernier prix s'élève à 80 francs lorsqu'il comprend les voûtes en briques et la chaussée.

Ces prix comprennent non seulement la surface du passage supérieur proprement dit, mais encore celle de la passerelle. C'est pourquoi les prix par unité de longueur et par unité de surface sont aussi réduits.

Épreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves, les flèches constatées ont été de :

	POIDS MORT.			POIDS ROULANT.		
	1re travée.	2e travée.	3e travée.	1re travée.	2e travée.	3e travée.
	m.	m.	m.	m.	m.	m.
Poutre n. 1.......	0,0005	0,0007	0,0002	0,0005	0,0012	0,0000
— n. 2.......	0,0005	0,0010	0,0010	0,0005	0,0020	0.0010
— n. 3.......	0,0005	0,0005	0,0010	0,0005	0,0020	0,0005
— n. 4.......	0,0005	0,0005	0,0002	0,0005	0,0010	0,0002
	Les travées chargées isolément.					

OUVRAGE N° 53.

PASSAGE SUPÉRIEUR SUR LA ROUTE NATIONALE N° 186, DE VERSAILLES A CHOISY-LE-ROI.

Ce pont est biais; l'ouverture droite est de $16^m,46$ l'ouverture biaise est de $28^m,10$.

L'ouvrage est composé de trois travées ; les deux travées extrêmes ont $6^m,90$ d'ouverture, et la travée intermédiaire $13^m,80$.

Les palées sont formées de colonnes en fonte de $0^m,40$ de diamètre à la base, $0^m,35$ au sommet, et présentant une épaisseur de $0^m,025$.

Les poutres reposent sur les chapiteaux par l'intermédiaire de rouleaux de dilatation de $0^m,09$ de diamètre, dont les côtés sont abattus. Cette disposition est à éviter. Il est préférable d'avoir des rouleaux complets, ce qui conduit à élargir les chapiteaux.

Il y a cinq rouleaux sur chaque point d'appui.

Le pont est en pente de $0^m,04$ par mètre. Chaque poutre repose, par l'intermédiaire de six rouleaux de dilatation de $0^m,090$ de diamètre, sur la culée la plus haute, et au moyen de simples sabots en fonte sur la culée la plus basse.

Le mouvement de dilatation s'opère donc en remontant la pente que présente le tablier métallique.

La distance comprise entre les garde-corps est de 13 mètres, dont 9 mètres pour la chaussée et 2 mètres pour chacun des trottoirs.

Le tablier métallique se compose de six poutres longitudinales de $18^m,20$ de longueur, espacées entre elles de $2^m,601$ d'axe en axe et réunies par des entretoises espacées elles-mêmes de $1^m,80$.

Les deux poutres de rive sont à treillis; elles ont $1^m,50$ de hauteur et sont formées de quatre cornières de $\frac{110 \times 110}{12}$; c'est entre ces cornières que sont pincées les barres de treillis, formées de fers plats de $0^m,060$ de largeur sur $0^m,008$ d'épaisseur.

Les quatre poutres intermédiaires ont $1^m,20$ de hauteur et sont formées d'une âme pleine de $0^m,008$, de cornières de $\frac{90 \times 90}{10}$ et de semelles de $0^m,288$ de largeur sur $0^m,01$ d'épaisseur.

Les entretoises qui réunissent les poutres de rive à la première poutre intermédiaire, ont $0^m,400$ de hauteur, et sont formées d'une âme de $0^m,007$ et de cornières de $\frac{80 \times 60}{8}$.

Les entretoises réunissant entre elles les poutres inter-

médiaires, ont $0^m,400$ de hauteur, et sont formées d'une âme de $0^m,008$ et de cornières de $\frac{90 \times 70}{10}$.

Les trottoirs sont supportés par des voûtes en briques de $0^m,11$, dont les naissances s'appuient sur les cornières supérieures des entretoises. Les reins de ces voûtes sont garnis de béton et une couche d'asphalte de $0^m,03$ recouvre le tout. Quant à la chaussée, elle repose sur des voûtes en briques de $0^m,11$ d'épaisseur, dont les naissances s'appuient sur les cornières inférieures des entretoises.

Ces voûtes, dont les reins sont garnis de béton, sont recouvertes d'une couche d'asphalte de $0^m,03$ qui amène les eaux pluviales, au moyen d'une pente ménagée à cet effet, jusqu'à la partie antérieure de la culée la plus basse.

La chaussée est pavée à droite et à gauche sur 2 mètres de largeur. Au milieu, et sur une largeur de 5 mètres, elle est empierrée.

Le poids de la partie métallique est de 102 000 kilogrammes, dont 71 000 kilogrammes pour les fers et 31 000 kilogrammes pour les fontes. La longueur totale des poutres étant de $32^m,60$, et l'ouverture biaise entre les culées, de $28^m,10$, le poids par mètre courant de la partie métallique est de 3 129 kilogrammes, et par mètre courant d'ouverture de 3 629 kilogrammes.

Les maçonneries des culées ont coûté 55 000 francs, les voûtes en briques et la chaussée 12 200 francs, et la partie métallique 41 200 francs. Le prix total de l'ouvrage est donc de 108 400 francs, soit par mètre courant de portée, 3 790 francs.

La partie métallique revient par mètre courant à 1 271 francs, et par mètre carré de surface couverte à 97 francs. Ce dernier prix s'élève à 127 francs lorsqu'il comprend les voûtes en briques et la chaussée.

Épreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves, les flèches observées ont été de :

	POIDS MORT.			POIDS ROULANT.		
	1re travée.	2e travée.	3e travée.	1re travée.	2e travée.	3e travée.
Poutre n. 1.	+ 0,00045	— 0,0010	+ 0,0003	— 0,0004	— 0,0004	— 0,0003
— n. 2.	+ 0,00040	— 0,0011	+ 0,0003	— 0,0006	— 0,0010	— 0,0004
— n. 3.	+ 0,00045	— 0,0008	+ 0,0004	— 0,0005	— 0,0004	— 0,0004
— n. 4.	+ 0,00050	— 0,0009	+ 0,0004	— 0,0002	— 0,0003	— 0,0002
— n. 5.	+ 0,00035	— 0,0007	+ 0,0004	— 0,0007	— 0,0010	— 0,0005
— n. 6.	+ 0,00055	— 0,0013	+ 0,00045	— 0,0002	— 0,0003	— 0,0003
	La charge placée sur la 2e travée.					

OUVRAGE N° 54.

PASSAGE SUPÉRIEUR SUR LA ROUTE DU CHAMPART.

(Pl. 15, *fig.* 26 et 27.)

Ce pont est biais. L'ouverture droite est de 100m,46; l'ouverture biaise est de 104m,35.

L'ouvrage est composé de sept travées; les deux travées extrêmes ont 12m,67 d'ouverture, et les cinq travées intermédiaires 15m,204.

Les palées sont formées de colonnes en fonte de 0m,40 de diamètre à la base, de 0m,30 au sommet et présentant une épaisseur de 0m,03.

Les poutres reposent sur les chapiteaux des colonnes par l'intermédiaire de rouleaux de dilatation de 0m,30 de diamètre, au nombre de deux pour chaque point d'appui.

Ce pont est en palier. Chaque poutre repose par l'intermédiaire de rouleaux de dilatation de 0m,30 de diamètre sur l'une des culées, et au moyen de sabots en fonte sans appareils de dilatation, sur l'autre culée.

Le tablier présente une largeur de 10 mètres entre

garde-corps, dont 7 mètres pour la chaussée et 1^{m},50 pour chacun des trottoirs.

La hauteur verticale entre le dessus de la chaussée et le dessous des poutres est de 1^{m},05.

Le tablier métallique se compose de quatre poutres longitudinales, ayant chacune 106^{m},17 de longueur; elles sont espacées entre elles de 2^{m},742 d'axe en axe et réunies par des entretoises espacées elles-mêmes de 1^{m},98.

Les deux poutres de rive ont 0^{m},95 de hauteur; elles sont formées d'une âme pleine de 0^{m},010 d'épaisseur, de cornières de $\frac{90 \times 90}{10}$ et de semelles de 0^{m},30 de largeur sur 0^{m},010 d'épaisseur.

Les deux poutres intermédiaires ont 0^{m},700 de hauteur; elles sont formées d'une âme pleine de 0^{m},010 d'épaisseur, de cornières de $\frac{100 \times 100}{11,5}$ et de semelles de 0^{m},400 de largeur sur 0^{m},010 d'épaisseur.

Les entretoises ont 0^{m},400 de hauteur et sont formées d'une âme de 0^{m},007 d'épaisseur et de cornières de $\frac{90 \times 70}{10}$.

Les trottoirs sont supportés, partie par les voûtes en briques et partie par des consoles correspondant à chaque cours d'entretoises. Ces consoles sont réunies entre elles par un fer en U de $\frac{250 \times 80}{10 \times 11}$, sur lequel s'attachent les montants de garde-corps. Elles portent des fers à T de $\frac{100 \times 60}{8}$ dont les ailes reçoivent des briques à plat recouvertes des couches en béton et d'asphalte qui constituent les trottoirs. La chaussée repose sur des voûtes en briques de 0^{m},11 d'épaisseur dont les naissances s'appuient sur les cornières inférieures des entretoises.

Ces voûtes, dont les reins sont garnis de béton, sont recouvertes d'une couche d'asphalte de 0^{m},02.

Des gargouilles placées à la partie supérieure des voûtes assurent l'écoulement des eaux pluviales.

La chaussée est pavée sur toute sa longueur.

Le poids de la partie métallique est de 268 000 kilogrammes, dont 202 500 kilogrammes pour les fers et 65 500 kilogrammes pour les fontes. La longueur totale des poutres étant de $106^m,17$ et l'ouverture biaise entre culées de $104^m,35$, le poids par mètre courant de tablier est de 2 524 kilogrammes, et par mètre courant d'ouverture, de 2 568 kilogrammes.

Les maçonneries des culées ont coûté 48 500 francs, les voûtes en briques et chaussée 37 000 francs, et la partie métallique 96 000 francs. Le prix total de l'ouvrage est donc de 181 500 francs, soit par mètre courant de portée 1 728 francs.

Il résulte des renseignements qui précèdent que la partie métallique revient par mètre courant à 905 francs, et par mètre carré de surface couverte à 90 francs.

Ce dernier prix s'élève à 125 francs lorsqu'il comprend les voûtes en briques et la chaussée.

Épreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves les flèches constatées ont été de :

	POIDS MORT.							POIDS ROULANT.						
	1re travée.	2e travée.	3e travée.	4e travée.	5e travée.	6e travée.	7e travée.	1re travée.	2e travée.	3e travée.	4e travée.	5e travée.	6e travée.	7e travée.
	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m	m
Poutre n. 1..	0,0025	0,003	0,0025	0,005	0,0025	0,004	0,0025	0,002	0,0025	0,005	0,004	0,0045	0,0035	0,005
— n. 2..	0,003	0,003	0,003	0,004	0,0055	0,003	0,005	0,002	0,005	0,0045	0,003	0,004	0,009	0,0035
— n. 3..	0,0025	0,004	0,005	0,0035	0,0045	0,0045	0,005	0,003	0,0045	0,004	0,005	0,0045	0,004	0,004
— n. 4..	0,002	0,004	0,003	0,005	0,0045	0,0055	0,006	0,002	0,003	0,0025	0,003	0,002	0,0055	0,004

Les travées chargées isolément.

OUVRAGE N° 55.

PASSERELLE DE LA GARE DE MASSY-PALAISEAU.

(Pl. 15, *fig.* 33 et 34.)

Cette passerelle qui a pour but de faire communiquer entre eux les quais de la ligne de Limours et ceux de la Grande-Ceinture, se compose d'une travée de 16 mètres de portée, reliée aux deux quais dont il vient d'être parlé au moyen d'escaliers inclinés à 2 de base pour 1 de hauteur.

La passerelle est supportée par huit colonnes en fonte de $0^m,20$ de diamètre à la base et de $0^m,16$ au sommet, présentant une épaisseur de $0^m,020$.

Les chapiteaux sur lesquels reposent les poutres ont $0^m,40$ de côté.

La travée principale et les escaliers sont formés par deux poutres longitudinales à treillis, formant garde-corps, espacées de $3^m,20$ d'axe en axe, et réunies par des entretoises espacées elles-mêmes de $1^m,60$ dans la travée et de $1^m,28$, suivant la projection horizontale, dans les escaliers.

Les deux poutres de la travée présentent une hauteur de $1^m,30$; elles sont formées de quatre cornières de $\frac{80 \times 80}{10}$ renforcées par des semelles de $0^m,200$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur.

Les treillis, composés de fers plats de $\frac{60}{8}$ sont pincés entre les cornières des poutres.

Les poutres des escaliers ont une hauteur normale de $1^m,20$; elles présentent les mêmes dimensions de fers, en ce qui concerne les cornières et les treillis, que les poutres de la travée, mais elles diffèrent de celles-ci en ce qu'elles ne comportent pas de semelles.

Les entretoises de la travée ont $0^m,19$ de hauteur et

sont formées d'une âme de $0^m,008$ et de trois cornières de $\frac{60 \times 60}{7}$.

Les entretoises des escaliers ont $0^m,167$ de hauteur et sont formées d'une âme de $0^m,008$ et de cornières de $\frac{60 \times 60}{7}$.

Le platelage de la travée est formé de tôles striées de $0^m,006$ d'épaisseur, rivées sur tout leur pourtour à la charpente métallique qui les supporte.

Quant aux escaliers, les marches sont formées de madriers de chêne de $0^m,05$ d'épaisseur, rendus solidaires au moyen de contre-marches et reposant sur des équerres rivées contre les poutres.

Le poids de la partie métallique est de 25 000 kilogrammes, dont 22 000 kilogrammes pour les fers et 3 000 kilogrammes pour les fontes. Le développement de la passerelle, suivant l'axe, étant de $42^m,80$, le poids par mètre courant de partie métallique est de 584 kilogrammes.

Les fondations et maçonneries ont coûté 2 000 francs, et la partie métallique 15 000 francs. Le prix total de l'ouvrage est donc de 17 000 francs, soit par mètre courant de développement 397 francs.

La partie métallique revient par mètre courant à 350 francs, et par mètre carré de surface couverte à 116 francs.

Ces prix ne comprennent pas la valeur des bois de chêne formant les marches et contre-marches des escaliers.

Épreuves. — Sous l'influence des charges d'épreuves, les flèches constatées ont été de :

		POIDS MORT.
		m.
Poutre de la travée	n. 1.	0,0042
—	n. 2.	0,0045
Poutres des escaliers	n. 1.	0,0008
	n. 2.	0,00125
	n. 3.	0,0015
	n. 4.	0,002

CONCLUSIONS.

Il est assez difficile de faire une comparaison rigoureuse de tous les ouvrages qui viennent d'être énumérés, puisqu'ils sont établis sur des types différents et dans des conditions diverses comme portées et épaisseurs de tabliers.

On peut toutefois faire quelques remarques utiles sur les différents systèmes de construction adoptés, et indiquer ceux qui sont plus avantageux, soit au point de vue de la légèreté du tablier et par suite de la dépense, soit au point de vue de l'épaisseur du tablier relativement à sa portée. Ces remarques, tout incomplètes qu'elles soient, en raison de ce qu'elles ne se rapportent qu'à cinquante-cinq ouvrages, permettront néanmoins de donner une première indication sur la solution à adopter, suivant qu'on se trouvera placé dans l'un ou l'autre des cas suivants : si on n'est pas gêné par la hauteur dont on dispose pour établir un ouvrage, on pourra alors rechercher la solution la plus économique. Si, au contraire, on est forcé d'établir un tablier avec une épaisseur très réduite, la question de dépense deviendra secondaire. Dans les deux cas, les conclusions qui suivent indiqueront approximativement le système le plus avantageux.

On s'occupera d'abord des passages inférieurs ou ponts sous rails en commençant par ceux à deux voies. Il ne paraît pas superflu de réunir tous ces ouvrages dans un seul tableau ; cela permettra d'abord de comparer entre eux les différents tabliers établis suivant des types différents, quoique ayant la même portée. Cela permettra, en second lieu, lorsqu'on aura un ouvrage à projeter, de trouver facilement l'épaisseur limite du tablier que l'on pourra adopter pour une portée donnée, ainsi que les poids et prix de revient correspondant à cette épaisseur.

PASSAGES INFÉRIEURS A UNE TRAVÉE.

PORTÉE entre les points d'appui extrêmes L	ÉPAISSEUR des tabliers. E	HAUTEUR de la poutre hors cornières H	RAPPORT $\frac{l}{H}$	POIDS par mètre courant.	DÉSIGNATION des types.	NUMÉROS des ouvrages.
m.	m.	m.		kil.		
3,00	0,51	0,26	1/11	658	A	3
3,00	0,51	0,26	1/11	651	A	4
3,07	0,51	0,26	1/12	825	A	5
4,00	0,68	0,38	1/10	920	A	6
4,00	0,365	0,33	1/12	967	B	13
4,00	0,365	0,33	1/12	989	B	14
4,00	0,365	0,33	1/12	1 397	B	15
5,40	0,79	0,464	1/11	1 234	A	7
5,80	0,75	0,700	1/8	2 140	C	29
6,00	0,78	0,464	1/12	1 100	A	1
6,00	0,83	0,51	1/11	1 126	A	8
6,74	0,83	0,51	1/13	1 198	A	9
7,00	0,95	0,650	1/10	1 634	A'	10
8,00	0,60	0,500	1/16	1 894	C	20
8,60	0,52	0,450	1/19	2 127	B'	16
9,00	0,95	0,60	1/15	1 882	A'	11
9,80	0,57	0,50	1/19	2 552	B	17
10,60	0,51	0,40	1/26	2 631	B'	18
11,00	0,65	0,55	1/20	2 466	B'	19
11,60	1,50	1,18	1/10	2 307	A'	12
13,60	0,80	0,70	1/19	2 466	C	21
13,92	0,84	0,75	1/18	2 610	C	30
15,00	1,02	0,95	1/15	2 551	C	22
15,60	0,85	2,20	1/7	2 716	D	35
20,50	0,71	2,10	1/9	3 571	D'	38
25,00	0,67	2,50	1/10	3 050	D	36
	PONTS EN ARC.					
21,60	0,51	0,400	1/54	2 520	C'	31
28,00	0,57	0,500	1/56	2 351	C'	32

PASSAGES INFÉRIEURS A PLUSIEURS TRAVÉES.

PORTÉE entre les points d'appui extrêmes. L.	PORTÉE des travées inter-médiaires. l.	ÉPAISSEUR du tablier. E.	HAUTEUR de la poutre hors cornière. H.	RAPPORT $\frac{l}{H}$.	POIDS par mètre courant.	DÉSIGNATION des types.	NUMÉROS des ouvrages.	NOMBRE de travées.
m. 22,30	m. 10,90	m. 0,65	m. 0,55	1/20	kil. 2 551	C	23	2 travées.
24,60	11,80	0,68	0,60	1/19	2 316	C	24	3 travées.
27,40	13,20	0,60	0,50	1/26	2 479	C	25	3 travées.

Les conclusions qui se dégagent du tableau précédent sont les suivantes :

Ponts ayant moins de 5 *mètres d'ouverture.*

1° Quand on ne manque pas de hauteur et que l'on est libre de donner au tablier l'épaisseur voulue (c'est-à-dire de $\frac{1}{10}$ à $\frac{1}{15}$ de la portée), on peut adopter le type A qui est un peu plus léger que le type B, mais qui pourrait l'être davantage si on simplifiait son mode de construction de façon à le rapprocher du type A'. Tel qu'il a été établi, il est relativement lourd, comparé au type B, ainsi qu'on le verra ci-après.

2° Quand, au contraire, on est obligé de réduire le plus possible l'épaisseur du tablier, c'est le type B qui est le seul pratique et économique. On voit en effet, par la comparaison des ouvrages n°s 6 et 13, que ce type B ne présente qu'une augmentation de poids insignifiante sur le type A (47 kilogrammes par mètre courant), ce qui est loin d'être en rapport avec l'augmentation d'épaisseur que dernier comporte et qui varie presque du simple au double ($0^m,365$ au lieu de $0^m,680$.)

3° Pour des portées plus considérables, cet avantage du type B sur le type A disparaîtrait. On ne peut, en effet, dans le premier système, élever le dessus des semelles des poutres longitudinales plus haut que le dessus des rails, parce que sans cela les bielles, manivelles ou excentriques de certaines machines pourraient se heurter sur ces semelles ou sur des obstacles qui s'y trouveraient. Cette considération limite donc la hauteur de la poutre; il se trouve que cette hauteur ainsi limitée suffit pour des ouvertures de 4 à 5 mètres; au delà, elle ne suffirait plus et il faudrait recourir au type B′ ou C.

Le type B est donc en définitive très commode; il doit être préféré pour des portées inférieures à 5 mètres et toutes les fois qu'on est gêné par la hauteur dont on dispose pour l'ouvrage.

Il pourrait être amélioré en remplaçant le platelage en bois qu'il comporte, par un platelage en tôle striée, et la longrine de rive en bois qui porte le garde-corps par un fer en U posé de champ.

Ponts ayant plus de 5 mètres d'ouverture (sans sujétion de hauteur).

4° Pour des ouvertures supérieures à 5 mètres, c'est toujours le type A′ qui présente le plus d'avantages, quand on peut donner au tablier toute l'épaisseur voulue $\left(\frac{1}{10}\right.$ à $\left.\frac{1}{15}\right.$ de la portée).

Ce type A′, outre qu'il est plus simple comme construction que le type A, a de plus l'avantage d'avoir un platelage en tôle striée. Ce plancher métallique est par le fait plus léger que le platelage en bois de chêne du type A, car il ne demande pas à être recouvert de ballast pour être protégé du feu des machines; il est d'ailleurs plus résistant,

puisqu'il dure autant que le tablier lui-même, et il rend la charpente du tablier plus rigide, circonstance avantageuse pour les portées un peu grandes.

Ponts ayant de 5 à 15 mètres d'ouverture (avec sujétion de hauteur).

5° Quand, au contraire, on est gêné par la hauteur, on est obligé de recourir aux types B′, C ou C′. Comme dans ces types le rail, et par suite la charge, reposent très près du point d'attache de l'entretoise à la poutre longitudinale, on peut réduire la hauteur de cette entretoise à $0^m,15$ au besoin, et par suite à $0^m,32$ ou 0,35 la distance comprise entre le dessus du rail et le dessous des poutres.

Il ne faudrait pas croire cependant que l'on pût réduire également à $0^m,35$ l'épaisseur du tablier quelle que fût sa portée. — En effet, si on emploie le type C, les poutres longitudinales doivent avoir *au moins* une hauteur hors cornières égale à $\frac{1}{22}$ de la portée de la travée unique, s'il s'agit d'un pont à une seule travée et à $\frac{1}{30}$ de l'ouverture de la travée centrale s'il s'agit d'un pont à plusieurs travées. Donc, tant que la portée ne dépassera pas $6^m,50$ environ, dans le premier cas, et 9 mètres dans le second, on pourra réduire la hauteur de la poutre hors cornières à $0^m,30$ et l'épaisseur du tablier à $0^m,35$. Au delà de ces limites, la hauteur de la poutre croissant avec l'ouverture, la semelle supérieure de cette poutre arriverait à être plus haute que le rail, ce qui ne se peut pas. L'épaisseur du tablier devra donc être augmentée de façon à assurer à la poutre une hauteur hors cornières au moins égale à $\frac{1}{22}$ de la portée pour un pont à une seule travée, et à $\frac{1}{30}$ de

l'ouverture de la travée centrale pour un pont à plusieurs travées.

On serait conduit aux mêmes remarques avec le type B′; seulement les limites qu'on vient d'indiquer seraient un peu reculées. Ainsi dans le cas d'un pont à une seule travée, les poutres devraient avoir une hauteur hors cornières au moins égale à $\frac{1}{27}$ et même $\frac{1}{30}$ à la rigueur, de leur portée. Donc tant que cette portée ne dépasserait pas 9 mètres environ, on pourrait réduire la hauteur de la poutre hors cornières à $0^{m},30$ et par suite l'épaisseur du tablier à $0^{m},35$.

On n'a pas construit sur le chemin de fer de grande ceinture de pont du type B′ à plusieurs travées, et on n'a pas eu l'occasion de rechercher jusqu'à quelles limites on pourrait réduire l'épaisseur du tablier. Mais il est probable que le rapport $\frac{1}{30}$ indiqué pour les tabliers à une travée, pourrait être porté à $\frac{1}{40}$, et que tant que la travée centrale n'aurait pas une ouverture supérieure à 12 mètres, l'épaisseur du tablier pourrait être réduite à $0^{m},35$. — Au delà de 12 mètres cette épaisseur devrait être augmentée.

Comme on le voit l'emploi du type B′ permet de gagner plusieurs centimètres sur le type C, pour l'épaisseur du tablier. Mais ce type est plus lourd que celui-ci, ainsi que le montre la comparaison des ouvrages n°s 20 et 16. Le type B′ est d'ailleurs d'une construction et d'un entretien moins faciles; il ne permet pas d'établir la voie sur traverses ce qui est avantageux quand cette voie est en courbe. On devra donc employer le type C de préférence au type B toutes les fois qu'on le pourra.

Ponts ayant de 15 à 30 mètres d'ouverture (avec sujétion de hauteur).

6° Au delà de 15 mètres d'ouverture, et toujours en supposant que l'on soit gêné par la hauteur disponible, on adoptera l'une des trois solutions suivantes :

Si l'on ne peut donner que très peu d'épaisseur au tablier, le pont en arc à tympan rigide sera le type le plus commode puisqu'il permet de réduire cette épaisseur à $0^m,35$ pour des ouvertures allant jusqu'à 18 mètres. Passé cette limite, comme il faut toujours donner à la poutre hors cornières une hauteur d'au moins $\frac{1}{60}$ de la portée, la semelle supérieure de cette poutre arriverait à être en contre-haut du niveau du rail, ce qui est inadmissible. On devra donc donner au tablier plus de $0^m,35$ d'épaisseur. Malgré cela, on peut voir que pour des ouvertures de $21^m,60$ et 28 mètres, cette épaisseur n'a été respectivement que de $0^m,51$ et $0^m,57$. — Ces dimensions auraient même pu, à la rigueur être ramenées, la première à $0^m,45$, la seconde à $0^m,55$. — Or il aurait fallu avec le type D, une épaisseur de $0^m,65$ environ et avec le type C à plusieurs travées, une épaisseur de $0^m,60$ à $0^m,70$.

Le type C' permet donc de diminuer encore plus que les précédents l'épaisseur du tablier : il est d'ailleurs plus économique, ainsi que cela résulte de la comparaison des ouvrages 24 et 25 d'une part et 32 d'autre part.

Ceci paraît en contradiction avec la conclusion qu'on tirerait de la comparaison des ouvrages n°s 23 et 31. Ces deux ponts ont sensiblement la même ouverture, mais le premier ne pèse que 2 351 kilogrammes par mètre courant alors que l'arc n° 31 pèse 2 520 kilogrammes. Cette anomalie tient à ce que les entretoises de ce dernier ouvrage ont été rapprochées outre mesure; leur écartement

n'est en effet que de 0,60 tandis que dans le pont n° 23, l'écartement des pièces transversales est de 0,90.

Le type en arc C' a enfin l'avantage de n'exiger aucun point d'appui intermédiaire, condition qui est imposée quand on se trouve au-dessus d'un canal, comme au n° 31, ou sur une route importante dont on ne peut rétrécir la chaussée par des palées, comme c'est le cas au n° 32.

Par contre, il a l'inconvénient d'être beaucoup plus long à calculer, de ne donner près des naissances que des hauteurs libres insuffisantes et inadmissibles quand on se trouve, par exemple, au-dessus d'une voie ferrée, et enfin d'exiger des culées bien solidement assises, condition qui ne peut être obtenue si les fondations sont difficiles et incapables de résister aux poussées horizontales de l'arc.

7° Dans ces deux derniers cas, on adoptera, soit le type D si on est amené à sacrifier la question d'économie, soit plutôt le type C à plusieurs travées si on peut compter que les fondations exécutées dans des conditions moyennes, et sans trop de dépenses, peuvent tout au moins supporter des pressions verticales. En tous cas, la comparaison des ouvrages n°s 22, 23, 24, 25, 30 et 35 montre que le type D est plus lourd que le type C; ainsi le n° 25, qui a 27^m,40 d'ouverture, pèse moins que le n° 35 qui n'en a que 15^m,60, tout en n'exigeant qu'une épaisseur de tablier moins grande.

8° Aucune hésitation ne paraît possible entre les deux types D et D'. La comparaison faite entre les ouvrages n°s 36 et 38 montre que le premier pèse beaucoup plus que le second, quoiqu'il ait une portée sensiblement moindre (20^m,50 au lieu de 25 mètres), et une épaisseur de tablier plus grande (0^m,71 au lieu de 0^m,67).

Le type D' a d'ailleurs l'inconvénient de nécessiter pour l'entre-voie, une largeur d'au moins 3^m,40 au lieu de 2 mètres et par suite d'obliger à élargir les culées et les

remblais aux abords, ce qui n'est pas toujours possible, et ce qui tout au moins occasionne des augmentations de dépense. Il n'a qu'un avantage : c'est de permettre de réduire l'épaisseur du tablier à $0^m,51$, tandis qu'avec le type D on ne peut guère abaisser cette épaisseur au-dessous de $0^m,67$ ainsi que cela se présente dans l'ouvrage n° 36. On gagne donc une dizaine de centimètres, mais au prix d'une augmentation de dépense relativement considérable.

Passages inférieurs à une voie.

Il a été construit peu d'ouvrages de cette catégorie sur le chemin de fer de grande ceinture; ils ne peuvent donc être l'objet de remarques spéciales, mais la comparaison entre les différents types à deux voies A, B, C, etc., qu'on vient de faire plus haut, donnerait les mêmes résultats, quant à l'avantage relatif que ces mêmes types, réduits à une voie, peuvent présenter les uns sur les autres. Les poids par mètre courant seraient différents, cela va sans dire.

On se bornera seulement à faire remarquer que la grande différence de poids existant entre les nos 33 et 34 provient de ce que les montants de ce dernier ouvrage ont été renforcés d'une façon exagérée.

Le type n° 33 paraît donc préférable.

Passages supérieurs.

Ces passages, au nombre de dix-sept, non compris les petits ouvrages de peu d'importance, peuvent se ramener aux trois types ci-après :

Tous ont un platelage formé de voûtes en briques, qui assure une rigidité plus grande au tablier et contribue à répartir plus uniformément les charges sur l'ensemble de la charpente métallique. Ce fait a été mis en évidence lors

des épreuves : les flèches observées ont été constamment moitié des flèches données par le calcul.

Type E. — Applicable à une largeur entre garde-corps de 4 à 5 mètres.

Dans ce système, le platelage est porté par l'intermédiaire d'entretoises sur deux grandes poutres de rive saillantes; tels sont les ouvrages nos 39, 40, 41, 42 et 43.

Type F. — Applicable à des largeurs entre garde-corps, comprises entre 6 mètres et 10 mètres.

Dans ce système, le platelage est porté, par l'intermédiaire d'entretoises sur deux poutres de rive ne dépassant pas le niveau de la chaussée. Par ce fait, la portée de ces ponts est limitée ou doit être subdivisée en plusieurs travées; tels sont les ouvrages nos 44 et 45.

Type G. — Applicable à toutes les largeurs entre garde-corps, supérieures à 10 mètres.

Le platelage est supporté par un certain nombre de poutres placées sous la chaussée. Deux poutres de rive sont disposées sous les trottoirs qui sont portés, partie par ces poutres et partie par des consoles; tels sont les ouvrages compris entre les nos 46 et 54.

Les ouvrages établis d'après ces trois types présentent entre eux des différences résultant des quatre éléments suivants :

Portée des poutres. — Nombre et ouverture des travées. — Épaisseur du tablier. — Écartement des poutres sous trottoirs.

Afin de mieux apprécier ces différences, on a réuni ces ouvrages dans le tableau suivant :

Les largeurs entre garde-corps étant variables, ce n'est plus le poids du tablier par mètre courant qui peut être pris comme terme de comparaison; on est ainsi conduit à prendre le prix de revient de ces tabliers par mètre carré de surface.

PORTÉE		ÉPAISSEUR des tabliers.	HAUTEUR de la poutre hors cornières.	RAPPORT.	LARGEUR entre garde-corps.	ÉCARTEMENT des poutres longitudinales sous chaussées.	PRIX par mètre carré.	DÉSIGNATION des types.	NUMÉROS des ouvrages.	NOMBRE de travées.
entre les points d'appui extrêmes. L.	des travées intermédiaires. l.	E	H.	$\frac{l}{H}$.						
m.	m.	m.	m.		m.	m.	fr.			
9,00	»	1,00	0,60	1/15	14,00	1,80	72	G	46	1 travée.
11,30	»	1,36	0,70	1/16	10,00	2,70	78	G	47	Id.
16,00	»	0,66	1,76	1/9	4,40	»	102	E	41	Id.
16,00	»	0,60	1,76	1/9	4,40	»	103	E	42	Id.
16,00	8,00	0,91	0,90	1/9	6,00	»	113	F	44	3 travées.
17,50	8.50	1,01	0,60	1/14	12,00	2,45	68	G	48	2 travées.
18,50	9,00	1,03	0,60	1/15	10,00	1,053	66	G	50	Id.
18,80	8,88	1,09	0,65	1/13	13,00	2,946	63	G	49	3 travées.
19,00	8,00 (plus une passerelle de 3 mèt.)	1,00	0,60	1/13	10,00	2,50	59	G	52	Id.
19,30	7,80	0,89	0,55	1/14	10,00	2,67	70	G	51	Id.
20,00	»	0,69	2,10	1/9	4,35	»	110	E	40	1 travée.
28,60	13,80	1,66	1,20	1/11	13,00	2,60	97	G	53	3 travées.
34,10	11,70	1,08	1,00	1,12	10,00	»	115	F	45	Id.
100,50	15,204	1,04	0,70	1,22	10,00	1,371	90	G	54	7 travées.

Les conclusions qui se dégagent de la comparaison des éléments du tableau précédent sont les suivantes :

Ponts de 4 à 5 mètres de largeur entre garde-corps

1° (Avec sujétion de hauteur). — La comparaison des ouvrages du type E avec tous ceux du type G, montre que les premiers coûtent toujours de 102 à 110 francs par mètre carré, tandis que les seconds ne coûtent que de 60 à 90 francs, suivant les portées.

Le type E a cependant des avantages : il ne nécessite

qu'une épaisseur de tablier de $0^m,66$, tandis que les types G exigent au moins 1 mètre; il peut présenter des portées d'une seule volée, de 16 à 20 mètres, sans exiger une augmentation de cette épaisseur, ni des points d'appui intermédiaires; il dégage donc très bien la vue des voies dans les tranchées; il permet quelquefois de réduire les culées à très peu de chose; enfin, dans les gares, il peut être préféré, en raison de ce qu'il ne nécessite aucun point d'appui intermédiaire. C'est le cas par exemple du n° 40. Donc, en résumé, si ces différentes conditions sont obligatoires et si notamment on manque de hauteur, on adoptera le type E quoique plus lourd,

2° (Sans sujétion de hauteur.) — Dans le cas contraire, si on peut disposer d'une épaisseur de 1 mètre pour une portée de 8 mètres (1), le type G devra être préféré puisqu'il est plus économique, ainsi qu'on vient de le dire. On fera le tablier à une travée si son ouverture reste inférieure à 16 mètres. En effet, les passages supérieurs dont il est question ici sont établis sur des lignes de chemin de fer à double voie. Si donc leur ouverture dépasse 8 mètres, si elle atteint par exemple, 12 mètres, 14 mètres ou 15 mètres, on ne pourra la subdiviser en deux ou trois travées puisqu'il faudra toujours réserver une travée d'au moins 8 mètres (minimum réglementaire) pour le passage de deux voies. Si on fait le pont à deux travées égales, ou à trois travées dont une centrale de 8 mètres, on aura une ouverture totale de 16 mètres dans les deux cas. Donc, jusqu'à 16 mètres on sera obligé en appliquant le type G, d'établir le tablier à une seule travée; l'épaisseur de ce tablier qui serait de 1 mètre pour une ouverture de 8 mètres serait de $1^m,50$ pour une de 16 mètres.

(*) Il est à remarquer que les passages supérieurs étant le plus souvent établis par dessus des voies ferrées, c'est presque toujours cette ouverture de 8 mètres qui est adoptée.

Si le pont n'était pas établi par-dessus une ligne à double voie, et si on était libre de disposer des palées intermédiaires, il faudrait évidemment agir différemment et ne pas établir un pont de 16 mètres d'une seule volée; on aurait intérêt, cela va sans dire, à partir d'une ouverture de 8 à 10 mètres à faire le pont à deux travées au moins.

Dès que l'ouverture d'un tablier à construire sur une ligne à double voie atteindra 16 mètres, il y aura également intérêt à la diviser en trois travées. La comparaison des ouvrages nos 46 d'une part à 48, 49 et 50 d'autre part, montre de quelle importance sera l'économie à réaliser. Le pont n° 46 qui n'a qu'une seule travée de 9 mètres d'ouverture coûte 72 francs par mètre carré, tandis que les trois autres dont les travées centrales ont des ouvertures de 9 mètres environ, ne reviennent qu'à 65 francs ou 68 francs au plus.

Ponts de plus de 5 mètres de largeur entre garde-corps.

La comparaison des ponts nos 44 et 45 du type F avec les autres ponts du type G, montre que les premiers exigent tout autant d'épaisseur que les seconds ($0^m,91$ à $1^m,08$), tout en coûtant cependant beaucoup plus cher, puisqu'ils reviennent de 113 à 115 francs le mètre carré, alors que les seconds ne reviennent qu'à 60, 65 et 90 francs.

Ce sera donc le type G qui devra être adopté et on le fera à une ou plusieurs travées ainsi qu'il est dit ci-dessus.

Les types F du reste, n'ont été adoptés qu'en raison de circonstances toutes particulières qui sont les suivantes :

Le n° 44 devait être exécuté avec 4 mètres de largeur, suivant le type E. En cours d'exécution cette largeur fut portée à 6 mètres. On voulut alors utiliser le plus possible les maçonneries déjà faites et les fers du premier tablier. Le n° 45 est établi à l'entrée de la gare de Palaiseau, au

milieu des voies de garage, d'appareils de changements et croisements de voie, par-dessus des quaïs à voyageurs. On a donc tenu à réduire le plus possible le nombre des colonnes en fonte qui le supportent. On n'en a mis que deux par palée, ce qui a forcé à n'avoir que deux grandes poutres de rive, au lieu de quatre ou cinq poutres sous chaussée.

OBSERVATIONS SUR LES PRIX DE REVIENT DES MAÇONNERIES DES TABLIERS MÉTALLIQUES.

Il y a peu de chose à dire sur cette question.

On se bornera à faire remarquer que partout où l'on a pu, on a adopté le type des culées avec murs en aile, en prolongement du parement des culées.

Le type avec murs en retour nécessite en effet des chaînes d'angle en pierre de taille, des plinthes ou bandeaux de couronnement de $0^{m},40$ au moins d'épaisseur.

Le type adopté, au contraire, ne comporte pas de chaînes d'angle, et au lieu de la plinthe, il ne nécessite qu'une tablette de $0^{m},15$ au plus d'épaisseur sur les rampants.

Le prix des culées adoptées varie évidemment suivant le cas et les fondations.

Le prix minimum est de 12 000 francs pour les passages inférieurs à poutres droites, tels que les n°s 1 et 24. Le prix maximum est de 45 000 francs, comme à l'ouvrage n° 37. Pour les ponts en arc, le prix des culées varie entre 15 000 et 35 000 francs.

Pour les passages supérieurs, on peut réduire le prix des culées à 5 350 francs, comme au n° 39, si on peut reporter celles-ci à la crête même de la tranchée. C'est une solution avantageuse.

Si cela n'est pas possible, le prix des culées peut, suivant le cas, varier entre 6 000 et 55 000 francs, suivant les largeurs de ces culées, leur hauteur, les sujétions avec

lesquelles on a dû les exécuter et les difficultés des fondations.

En terminant, on peut donner encore une indication iutle :

Lorsqu'un ouvrage doit être établi sous des voies en exploitation, les sujétions d'exécution deviennent alors très grandes; il faut exécuter les culées par petites parties dans des puits blindés, glisser les tabliers métalliques sous les voies sans arrêter le passage des trains. Dans ces conditions, l'ouvrage coûte au moins trois fois et même trois fois et demie plus cher.

Paris le 30 janvier 1883.

CHRONIQUE.

(Mai 1883.)

N° 25

ACADÉMIE DES SCIENCES.

PRIX DÉCERNÉS POUR L'ANNÉE 1882.

Dans sa séance publique annuelle du 2 avril 1883, l'Académie a décerné :

1° Le prix *Dalmont* à M. Georges LEMOINE, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, pour l'ensemble de ses travaux de chimie et pour sa participation, comme collaborateur de Belgrand, aux études hydrologiques du bassin de la Seine, études à la continuation desquelles il reste attaché;

2° Le prix de *Statistique* à M. CHEYSSON, Ingénieur en chef, Di recteur du dépôt des cartes et plans au Ministère des Travaux Publics, pour deux publications remarquables à des titres différents : *le Bulletin du Ministère des Travaux Publics* et l'*Album de statistique graphique*.

N° 26

NOTE

SUR

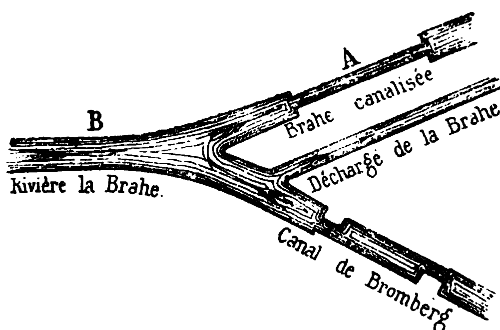
UNE ÉCLUSE CONSTRUITE A BROMBERG

Par M. FLAMANT, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

On exécute en ce moment à Bromberg (Allemagne) une écluse dont les dispositions intéresseront peut-être les lecteurs des *Annales*.

Bromberg est situé sur la Brahe canalisée, affluent de la Vistule. Dans l'intérieur de la ville, vient se souder à la Brahe le canal de Bromberg, construit sous le règne de Frédéric II, qui est à point de partage et qui réunit la Brahe à la Netze canalisée, dont les eaux se rendent, par la Warthe, à l'Oder. Ce canal, dont le bief de partage est alimenté par les eaux de la Netze supérieure, qui y sont amenées par une rigole navigable, dessert un important trafic de bois, venant de la Vistule supérieure et se rendant, par l'Oder, le canal Finow, la Havel et la Sprée, jusqu'à Berlin.

Il s'embranchait sur la Brahe, au milieu de la ville de Bromberg, suivant une direction oblique des plus incommodes pour la circu-

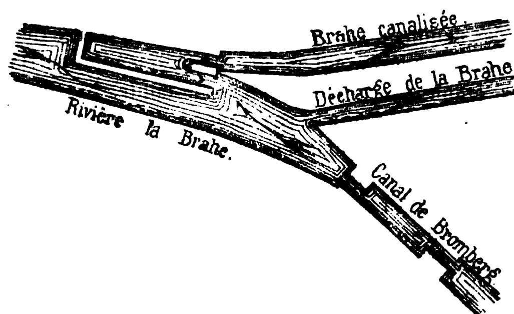


lation des bateaux et des trains de bois, et figurée par le croquis ci-contre. La première écluse A, de la Brahe, en fort mauvais état, devrait être reconstruite, et il était difficile, eu égard aux

constructions établies le long de la rivière et du canal, de modifier notablement leurs directions respectives.

Dans ces conditions, les ingénieurs allemands ont eu l'idée de construire la nouvelle écluse, destinée à remplacer l'écluse A, à l'intersection même du canal et de la Brahe, au point B, en plaçant les deux portes sur la même tête, ce qui forme une écluse à rebroussement ainsi qu'on le voit sur le second croquis ci-dessous.

D'après la disposition de cette écluse, les bateaux qui y entrent directement en sortent le gouvernail en avant; mais cela n'est pas un inconvénient pour la navigation qu'elle est appelée à desservir, qui consiste surtout en trains de bois.



Cette écluse sera exécutée dans d'excellentes conditions. Le remplissage et la vidange se feront au moyen de vannes tubes, levant verticalement et placées dans les bajoyers. Elle doit être construite entièrement en briques, à l'exception des chardonnets, etc., qui seront en magnifique granit de Silésie.

L'installation du chantier, au point de vue de la fabrication du mortier, des épuisements, etc., est parfaitement entendue et présente plusieurs dispositions ingénieuses. Eu égard à la position choisie pour l'emplacement de la nouvelle écluse, sa reconstruction se fait sans interrompre la navigation.

Le sas pourra recevoir deux bateaux, ou 80 mètres de longueur de train de bois, comme toutes les écluses du canal de Bromberg, qui sont d'ailleurs disposées, ainsi qu'on peut le voir sur le croquis, de manière que le bateau entré le premier sorte aussi le premier.

Paris, le 20 avril 1883.

(N° 27)

AMARRAGE DES NAVIRES

Note par M. P. ALEXANDRE, Ingénieur des Ponts et Chaussées

On emploie généralement dans nos ports deux sortes d'engins pour l'amarrage des navires : les organeaux, ou boucles d'amarrage en fer, et les canons d'amarre en fonte, bois ou pierre dure.

Les organeaux présentent de graves inconvénients. D'une part, ces engins, établis à 1 mètre ou 1m,50 en contre-bas du couronnement des quais, pour offrir une résistance suffisante au soulèvement, sont noyés et, par suite, inaccessibles en grandes vives eaux dans les ports à marée. D'autre part, on ne peut les atteindre qu'en canot ; un homme à terre est dans l'impossibilité d'attacher une amarre ou de la larguer. En outre, les organeaux sont peu apparents pendant la nuit, ce qui est une gêne pour les navires qui viennent prendre place à quai.

Les canons d'amarre sont exempts de ces inconvénients, mais en ont d'autres. Comme ils sont forcément placés à une certaine distance de l'arête du quai (1m,50 au moins), les amarres constituent un obstacle à la circulation publique. Veut-on établir une voie ferrée le long du quai, il faut la reporter en arrière des canons et perdre ainsi une certaine zone du terre-plein, souvent là où il présente une largeur déjà trop restreinte. Si la voie ferrée est destinée à la circulation de grues, leur flèche doit être augmentée pour atteindre les panneaux des navires, en raison de la distance des rails à l'arête du quai.

Les poteaux d'amarrage anglais dits « bollards, » maintenant très couramment employés chez nos voisins, sont, au point de vue de la circulation le long des quais et de l'établissement des voies ferrées, presque aussi avantageux que les organeaux. Au point de vue de l'amarrage des navires, ils offrent autant de facilités que les canons, et même plus dans certains cas, où il est possible de capeler l'amarre en lançant un nœud du bord.

Les bollards se composent d'une sorte d [illegible]

fonte, de $0^m,45$ de hauteur, dont la base, formée d'un bâti de $1^m,50$ de longueur sur $0^m,60$ de largeur et $0^m,30$ d'épaisseur maximum, occupe la place d'une pierre de couronnement du quai. Ce bâti est ancré dans le mur par quatre boulons en fer de $2^m,25$ de longueur et de $0^m,05$ de diamètre, inclinés de 15 degrés environ sur la verticale, et munis à leur extrémité inférieure d'une petite plaque de fonte de $0^m,25$ de diamètre, retenue par une clavette.

Le bollard n'est relié aux boulons de scellement que par des écrous ; il serait donc facile de le remplacer, en cas d'avaries, à la suite d'un choc par exemple. Quant aux boulons, leur rupture ne paraît guère à redouter, si l'on compare la section de résistance d'un seul d'entre eux à celle des chaînes au moyen desquelles on amarre les plus forts navires.

Au nouveau bassin à flot de Dieppe, où les murs de quai sont construits en béton avec un simple parement en briques, on a renforcé l'épaisseur du mur en supprimant la dernière retraite de $0^m,50$ sur 2 metres de longueur, au droit de chaque bollard.

Pour les poser il a été procédé de la manière suivante :

Le mur était élevé jusqu'au niveau du dessous de l'assise de couronnement, et l'on réservait, dans l'emplacement de chaque bollard et en arrière du parement, à l'aide d'un coffrage provisoire en planches, un vide en forme de queue d'aronde, ayant 2 mètres de hauteur, $1^m,75$ de largeur et 1 mètre de longueur mesurée suivant la direction du quai. On disposait le bollard dans sa position définitive, en faisant reposer la partie antérieure du bâti sur le parement du mur, et la partie postérieure sur des madriers. Le vide une fois rempli de béton, les madriers étaient enlevés. Quelques jours après, le bollard faisait corps avec le massif de béton fraîchement coulé et avec le mur lui-même.

Le prix de revient des bollards est peu différent de celui des canons d'amarre en fonte de grandes dimensions, employés dans les ports maritimes.

Il peut s'établir ainsi qu'il suit :

930 kilogrammes de fonte pour le corps du bollard et les quatre petites plaques aux extrémités des boulons, à $0^f,28$ le kilogramme. . . . . $250^f,40$

155 kilogrammes de fer forgé pour boulons de scellement, à $0^f,70$ le kilogramme. 108 50

Frais de modèle, encoffrement pour réserve du massif de maçonneries, bardage, mise en place, peinturage, etc, environ. 61 10

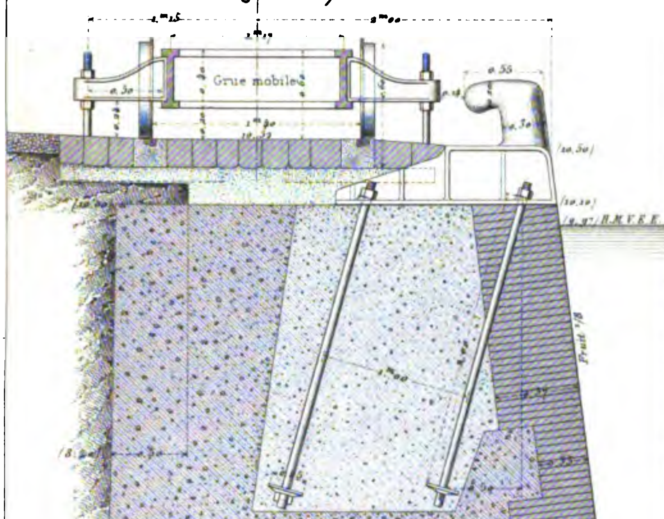
Total. . . . . $420^f,00$

On ne saurait trop recommander l'emploi de ces engins dans les bassins à flot et sur les fleuves.

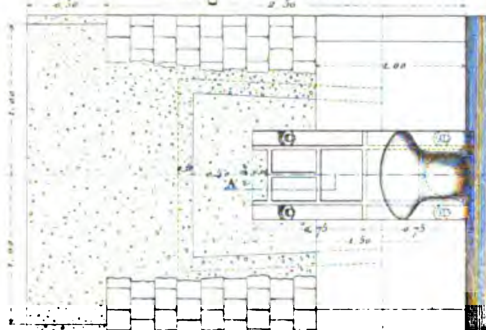
Dans les avant-ports, où la houle est considérable, il est à redouter que les amarres ne puissent décapeler pendant une oscillation du navire. L'expérience qui vient d'être faite à Tréport, dans un avant-port très agité, montrera si cette crainte est fondée.

Dieppe, le 28 mars 1883.

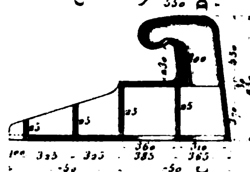
A Fig. 1. *Coupe élévation*



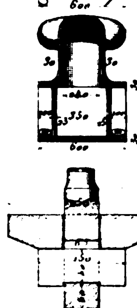
A Fig. 2. *Plan*



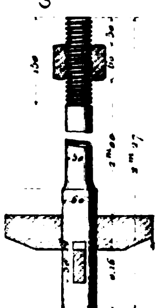
A Fig. 3. *Coupe* AB



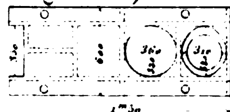
A Fig. 4. *Coupe* CD



B Fig. 6. *Boulon*



A Fig. 5. *Plan par dessous*



Echelle A de 0m02 pour 1m00

Echelle B de 0 08 pour 1m00

Gravé par E. Peret

N° 28

MÉMOIRE

SUR

LA PORTÉE DES SONS

ET

SUR LES CARACTÈRES A ATTRIBUER AUX SIGNAUX SONORES

Par M. E. ALLARD, Inspecteur général des Ponts et Chaussées,
Directeur du service central des phares et balises.

EXPOSÉ.

Les signaux sonores au moyen desquels on supplée à l'insuffisance des signaux lumineux, pendant les temps de brume, sont aujourd'hui très fréquemment employés sur les côtes. On utilise souvent les cloches sonnées à la main ou par un appareil mécanique ; on a également recours aux sifflets à vapeur ; on a essayé les canons et en général les matières explosibles ; et enfin les trompettes à vibrateur ou à sirène, actionnées par l'air comprimé ou par la vapeur, sont maintenant considérées comme donnant les meilleurs résultats. Les Américains du Nord ont sur leurs côtes, non compris les cloches, plus de soixante signaux sonores, dont près de trente trompettes. En Angleterre il y en a également un grand nombre. Nous en avons jusqu'à présent beaucoup moins sur le littoral de la France, et cela tient à cette circonstance avantageuse que, nos côtes étant bien moins embrumées, le besoin de ces signaux sonores ne

s'est pas fait aussi vivement sentir. Outre les cloches mues à bras d'homme, nous avons six cloches sonnées mécaniquement et cinq trompettes à vapeur. Mais la loi du 3 avril dernier, relative à l'éclairage des côtes, a autorisé l'exécution de vingt nouvelles trompettes à vapeur, qui ne tarderont pas à être installées.

Pour bien apprécier les services que peuvent rendre ces nouveaux engins, il faut connaître la portée des sons qu'ils produisent, c'est-à-dire la distance à laquelle on peut les entendre, suivant les différentes circonstances dans lesquelles on se trouve. Cette portée dépend de plusieurs éléments, comme l'intensité et la hauteur du son, l'état de l'atmosphère, la direction du vent, la direction du corps sonore, la sensibilité de l'oreille de l'observateur. J'essayerai plus loin d'établir une formule qui lie la portée à ces différents éléments; mais il faut d'abord recueillir les renseignements fournis par des observations pratiques.

Les expériences sur la portée des sons ne sont pas nombreuses; elles sont en général difficiles à organiser, parce qu'il faut pouvoir se transporter à de grandes distances et dans différentes directions. Celles dont j'ai eu connaissance sont les suivantes :

Expériences françaises, faites à Boulogne-sur-Mer en 1861-1862, par les ingénieurs du service maritime, sur des cloches sonnées mécaniquement.

Expériences anglaises, faites à Douvres en 1873, par la corporation de Trinity House, avec l'assistance du professeur Tyndall, sur les trompettes à vapeur et autres instruments sonores.

Expériences américaines, faites aux environs de New-York, principalement en 1874 et 1875, sur des trompettes et des sifflets à vapeur.

Expériences allemandes, faites à l'embouchure de l'Elbe en 1880, sur des cornets de brouillard mus à bras d'homme.

Je vais faire connaître, pour chacune de ces séries d'expériences, les résultats qui ont été obtenus et les conséquences qu'on peut en déduire.

EXPÉRIENCES FRANÇAISES.

En 1861, MM. Legros et S.-A. Allard, qui étaient alors ingénieur en chef et ingénieur ordinaire du service maritime dans le département du Pas-de-Calais, furent chargés d'étudier, à Boulogne-sur-Mer, la portée du son des cloches, en employant ou non un réflecteur, et en faisant varier le poids de la cloche, celui du marteau, ainsi que le nombre de coups frappés par minute.

Les sonneries étaient placées sur l'extrémité de la jetée sud-ouest du port, et voici comment les opérations étaient conduites. On faisait d'abord marcher la sonnerie la moins intense. Un bateau s'éloignait en mer dans une direction déterminée. Lorsque l'observateur du bateau n'entendait plus le son que faiblement, il hissait un pavillon. Deux opérateurs munis de théodolites et placés dans les falaises de part et d'autre de la jetée suivaient alors le bateau dans les lunettes de leurs instruments. Au moment où le son cessait d'être perçu dans le bateau, le pavillon était amené, les deux opérateurs fixaient les lunettes et lisaient l'angle indiqué par l'instrument. En même temps on arrêtait la première sonnerie et l'on mettait en marche celle dont l'intensité était immédiatement supérieure. Le bateau continuait à s'éloigner dans la même direction et procédait de la même manière que dans le premier cas. On passait alors aux sonneries suivantes. Après quoi la première sonnerie était remise en marche, le bateau se rapprochait jusqu'à ce que le son redevînt très distinct pour l'observateur, puis il recommençait à s'éloigner dans une autre direction, et la même série d'opérations se renouvelait. On a consacré à ces expériences treize journées convenablement choisies,

pendant les années 1861 et 1862, et c'est au moyen des points ainsi déterminés qu'on a pu tracer, pour chaque sonnerie, des courbes continues représentant la limite des portées dans les différentes directions. Les tableaux nos 1, 2 et 3 donnés ci-après font connaître les résultats mesurés sur ces courbes, dans des directions espacées de 22° 1/2 ou d'un quart d'angle droit. La direction du vent était d'ailleurs notée au moment de chaque observation; elle est indiquée dans ces tableaux. Deux colonnes font connaître l'angle de la direction dans laquelle s'éloignait le bateau de l'observateur, d'une part, avec l'axe du réflecteur placé au nord-ouest, de l'autre, avec la direction vers laquelle allait le vent. Les portées observées sont données en kilomètres dans les colonnes suivantes.

J'ai d'abord cherché à conclure de ces expériences la loi suivant laquelle la direction du vent modifie la portée du son. Les portées obtenues dans les différentes directions ont été exprimées en prenant pour unité celle qui correspond au vent de travers, c'est-à-dire au vent faisant un angle de 90 degrés avec la direction de l'observateur, et, afin d'écarter l'influence du réflecteur, ce calcul a été seulement appliqué aux cloches sans réflecteur ou à celles dont le réflecteur mobile était constamment dirigé vers l'observateur, comme dans les expériences nos 9 à 13. Ces valeurs proportionnelles des portées sont indiquées dans une colonne des trois premiers tableaux. Le tableau n° 4 les reproduit, en remplaçant par une seule moyenne les valeurs qui, dans la même expérience, correspondent à un même angle. Il ne s'applique qu'à neuf expériences sur les treize qui ont été faites. Les quatre autres ont été laissées de côté; deux, portant les nos 10 et 13, ne contiennent que quatre directions, parmi lesquelles ne figure pas celle de 90 degrés qu'il aurait fallu prendre pour unité; les deux autres, nos 3 et 5, présentent des anomalies qui ne permettent pas de les utiliser pour le calcul actuel, et qui consistent en ce que la

portée contre le vent est légèrement plus grande que celle dans le sens du vent, la force du vent étant d'ailleurs très faible. Ce résultat est peut-être dû à un changement dans l'état de l'atmosphère, ainsi que je l'indiquerai plus loin.

En prenant les moyennes des différents chiffres inscrits dans le tableau n° 4, on trouve, pour les valeurs proportionnelles des portées dans les directions variant d'un quart d'angle droit, depuis la direction dans laquelle va le vent jusqu'à celle qui lui est diamétralement contraire :

2,06 1,83 1,54 1,27 1,00 0,85 0,74 0,62 0,49.

La formule qui paraît le mieux convenir pour représenter ces valeurs est :

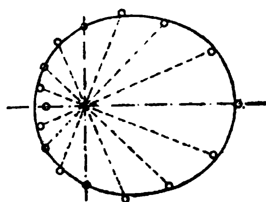
$$\rho = \frac{1}{1 - 0,5 \cos \omega},$$

ω étant l'angle avec la direction du vent. Cette formule donne en effet, pour les mêmes angles que ci-dessus, les résultats suivants :

2,00 1,86 1,55 1,24 1,00 0,84 0,74 0,68 0,67.

Les valeurs extrêmes sont celles qui s'accordent le moins bien ; mais on peut voir sur le tableau n° 4 qu'elles ont été obtenues au moyen d'un petit nombre de chiffres et sont par conséquent plus incertaines que les autres. La figure n° 1 représente la courbe qui correspond à la for-

Fig. 1.



Action du vent
sur la portée d'une cloche.
(Tableau n° 4.)

mule et qui est une ellipse; elle indique en outre, pour les différentes directions, les points qui résultent de l'observation.

On peut conclure des chiffres précédents que la portée dans le sens du vent est triple de celle qui correspond au vent contraire. Mais ce rapport ne s'applique qu'aux circonstances dans lesquelles ont été faites les expériences, c'est-à-dire pour des vents compris entre petite brise et forte brise, ou dont la vitesse ne dépasse pas 10 mètres environ par seconde.

La vitesse du vent a en effet une influence sur les coefficients de la portée. Si dans le tableau n° 4 on prend, pour différentes directions, la moyenne des coefficients qui correspondent aux trois désignations de petite, bonne et forte brise, on forme le tableau n° 5, et l'on reconnaît facilement que, pour les trois directions de vents favorables, le coefficient de la portée va en augmentant à mesure que la force du vent augmente, tandis que, pour les vents contraires, ce coefficient va en général en diminuant. Cet accroissement de la portée du son dans le sens du vent, à mesure que la vitesse du vent augmente, ne doit pas avoir lieu pour toutes les vitesses, car les vents violents ne paraissent pas favorables à la propagation du son; il est probable qu'il y a un maximum de portée pour une certaine vitesse du vent au delà de laquelle le phénomène change de sens. On verra d'ailleurs plus loin que les expériences allemandes ne confirment pas ce qui vient d'être dit sur l'accroissement de la portée.

Pour étudier l'action du réflecteur dans les différentes directions, il suffit de comparer entre elles les portées obtenues avec ou sans réflecteur pour les mêmes circonstances de sonnerie et de vent. Une des colonnes des tableaux n°s 1 et 2 contient le rapport moyen des portées obtenues avec réflecteur à celles qui l'ont été sans réflecteur. Le tableau n° 3 n'a pu concourir à la détermination des

coefficients que nous cherchons, puisqu'il ne contient pas d'expériences faites sur une même cloche avec et sans réflecteur. En réunissant dans le tableau n° 6 les résultats obtenus et calculant les moyennes des chiffres correspondant au même angle avec l'axe du réflecteur, on trouve pour les coefficients relatifs aux angles variant de quart en quart d'angle droit, depuis 0 jusqu'à 112° 1/2 :

1,58 1,47 1,32 1,17 0,99 0,94 » » ».

On n'a pas d'observation au delà de 112° 1/2. Ces coefficients peuvent être représentés par la formule empirique :

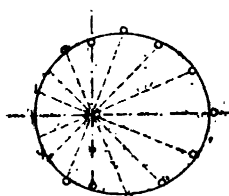
$$\rho = \frac{1}{1 - 0,36 \cos \omega},$$

qui donne, pour les mêmes angles que ci-dessus et pour les suivants jusqu'à 180 degrés :

1,56 1,49 1,34 1,16 1,00 0,88 0,80 0,75 0,74.

La portée dans l'axe du réflecteur est donc un peu plus que les $\frac{3}{2}$ de celle qui est relative à la direction opposée. La figure 2 représente la courbe qui correspond à la

Fig. 2.



Action d'un réflecteur
sur la portée d'une cloche.
(Tableau n° 6.)

formule, ainsi que les différents points résultant de l'observation.

Les formules qui viennent d'être obtenues, et qui représentent l'influence du vent ou d'un réflecteur sur la portée des sons, peuvent servir à résoudre une question pratique importante, celle de la direction qu'il faut donner à l'axe d'un réflecteur suivant la direction du vent. Si θ représente l'angle de l'axe du réflecteur avec le vent, la courbe des portées des sons sous la double influence du vent et du réflecteur aura pour équation polaire :

$$\rho = \frac{1}{1 - 0{,}50 \cos \omega} \times \frac{1}{1 - 0{,}36 \cos (\omega - \theta)}.$$

En donnant à θ différentes valeurs et construisant les courbes correspondantes, on peut choisir celle qui, eu égard aux circonstances locales, remplit le mieux possible le but qu'on se propose. Cette question pourrait d'ailleurs être traitée analytiquement et conduirait à des résultats intéressants.

Après avoir étudié l'influence du vent et celle d'un réflecteur sur la portée des sons, il reste à déterminer la valeur moyenne de cette portée, par temps calme et sans réflecteur, pour chacune des sonneries qui ont été expérimentées à Boulogne. Cette moyenne pourrait être obtenue en prenant, dans les colonnes des portées sans réflecteur, celles qui correspondent à un angle de 90 degrés avec la direction du vent. Mais il vaut mieux faire intervenir dans cette détermination les résultats des mesures prises dans toutes les directions, et pour cela il faut diviser les différentes portées observées par le coefficient ρ de la direction correspondante, en le calculant par la formule

$$\rho = \frac{1}{1 - 0{,}50 \cos \omega}.$$

Les résultats de ces divisions sont indiqués dans les dernières colonnes des tableaux n°s 1, 2 et 3 ; en en prenant la moyenne, on a la portée de la sonnerie pour l'expérience dont on s'occupe. Si l'on réunit ensuite ces différents

résultats dans le tableau n° 7, on obtient pour chaque sonnerie les portées moyennes suivantes :

			kilom.
Petite cloche de 98 kilogrammes frappée par un marteau de. . .	$2^{kg},5$, 15	fois par minute	1,21
	$2^{kg},5$, 25	—	1,37
	$5^{kg},0$, 25	—	1,89
	$7^{kg},5$, 25	—	2,88
Grosse cloche de 227 kilogrammes frappée par un marteau de. . .	$5^{kg},0$, 60	—	1,96
	$9^{kg},0$, 60	—	3,04

Le travail dépensé pour produire ces différents sons est facile à calculer. Le centre de gravité du marteau parcourait, dans les expériences de Boulogne, un arc de cercle de $0^m,20$ de longueur, dont la projection verticale était de $0^m,12$. En multipliant cette hauteur de $0^m,12$ par le poids du marteau et par le nombre de coups, et divisant par 60, on obtient le travail produit sur la cloche. En divisant ensuite les résultats par le coefficient de rendement, qu'on peut supposer égal à 0,75, on trouve les nombres suivants, qui représentent le travail moteur en kilogrammètres par seconde;

0,10 0,17 0,33 0,50 0,80 1,44.

Quant à la hauteur du son, on peut admettre que la petite cloche faisait 800 vibrations par seconde et la grosse 600 environ.

EXPÉRIENCES ANGLAISES.

Ces expériences ont été faites en 1873, près de Douvres, par la corporation de Trinity House, avec la coopération de M. Tyndall. Elles ont porté sur divers instruments sonores : sifflets à vapeur, canons, trompettes à vibrateur, trompettes à sirène. Ces instruments étaient établis sur la côte, et les résultats étaient observés au moyen d'un bateau à vapeur qui s'éloignait en mer. Le principal but était de

comparer entre eux les effets produits, et de constater la valeur relative des différents appareils sonores ; la véritable limite à laquelle les sons ont cessé d'être entendus n'est pas toujours indiquée. La plupart des observations ont été faites dans une direction peu éloignée de l'axe des trompettes. Lorsque la direction du vent est indiquée, ce n'est que par une des désignations : *favorable*, *de travers* ou *contraire*.

Le tableau n° 8 réunit les chiffres de portées qui ont pu être recueillis dans le compte rendu des expériences, pour les trompettes à vibrateur ou à sirène et pour les sifflets. En prenant la moyenne de ces chiffres, on trouve les portées suivantes :

Pour la trompette à vibrateur, par vent favorable 6 milles $\frac{3}{10}$, par vent de travers 4 milles, par vent contraire 2 milles $\frac{5}{10}$; portée moyenne, 4 milles $\frac{3}{10}$ ou $7^{km},96$.

Pour la trompette à sirène, par vent favorable 7 milles $\frac{5}{10}$, par vent contraire 2 milles $\frac{7}{10}$; portée moyenne, de 5 milles $\frac{1}{10}$ ou $9^{km},44$.

Pour le sifflet, il y a très peu de chiffres indiqués dans les comptes rendus; on se borne souvent à dire que la portée est inférieure à celle de la trompette ordinaire; la portée moyenne peut être fixée à 2 milles $\frac{7}{10}$ ou 5 kilomètres.

Les comptes rendus des expériences ne contiennent pas de renseignements suffisants pour qu'on puisse calculer le travail dépensé par chaque instrument sonore. Quant à la hauteur du son, elle est indiquée pour la sirène seulement. Le nombre de vibrations par seconde était de 360 au commencement des expériences; il a été porté à 400 et même à 480. On peut fixer la moyenne à 400.

C'est pendant le cours de ces expériences de Douvres que M. Tyndall a cru reconnaître la propriété qu'aurait l'atmosphère de présenter, suivant les cas, des conditions plus ou moins favorables à la transmission du son, et il a admis que la transparence acoustique de l'air, suivant son expression, pouvait varier entre des limites très étendues.

M. Tyndall cite la journée du 3 juillet pendant laquelle, à 2 milles de distance, aucun son ne fut entendu, pas même celui du canon. Il faisait un temps calme, et le soleil était très chaud. M. Tyndall supposa que l'évaporation invisible de la mer se mêlait à l'atmosphère en formant un mélange non homogène. « Je pense, dit-il, qu'on aurait pu découper l'atmosphère en petits espaces dans lesquels l'air serait à différents états de saturation, ou même serait remplacé par de la vapeur. Les surfaces invisibles limitant ces espaces constituent les conditions nécessaires à la production d'échos partiels et, par suite, à la destruction du son. » L'expérience parut vérifier cette hypothèse, car quelque temps après, le soleil ayant été masqué par un nuage, le son fut entendu aux mêmes distances que les jours précédents, ce qu'on ne peut expliquer qu'en admettant que, l'évaporation de la mer ayant cessé, l'air était devenu homogène. M. Tyndall trouve, d'ailleurs, une autre confirmation de son idée dans ce fait, qu'étant revenu à terre et s'étant placé sur le rivage à quelque distance des instruments sonores, il entendit distinctement un écho venant du large, alors que la mer était lisse et dépourvue de navires, et qu'il y avait ni nuage, ni aucun objet visible pouvant produire l'effet observé. Il attribua cet écho aux réflexions du son sur les parties non homogènes de l'atmosphère formant, suivant son expression, un nuage acoustique.

Nous verrons que les observations faites en Amérique confirment, sinon l'explication de M. Tyndall, du moins la réalité et la généralité du fait qu'il a observé, et qui consiste

dans la variation de ce qu'il appelle la transparence acoustique de l'air. C'est cette variation qui peut expliquer les anomalies que présentent assez souvent les expériences sur la portée du son, et dont j'ai déjà signalé quelques exemples dans l'étude des observations faites à Boulogne.

Lorsque j'essayerai, plus loin, d'établir une formule relative à la portée des sons, je ferai voir que, pour expliquer les faits, il est indispensable d'attribuer à l'atmosphère un coefficient de transparence acoustique, qui varie, suivant les circonstances, d'une manière encore mal définie. Pour la transparence lumineuse, on n'a jamais douté qu'elle ne fût variable, car l'organe de la vue nous avertit immédiatement lorsque cette transparence descend au-dessous d'une certaine limite où commence la brume. Mais pour la transparence acoustique, il est difficile d'en reconnaître les variations, et il faut pour cela des expériences convenablement organisées. M. Tyndall semble admettre que la transparence optique correspond à l'opacité acoustique et réciproquement, de sorte que les temps de brouillard seraient très favorables à la transmission des signaux sonores.

EXPÉRIENCES AMÉRICAINES.

Les rapports annuels présentés par le Service des phares des États-Unis pour les années 1874 et 1875 contiennent les comptes rendus d'expériences faites, principalement par M. le président Henry, pour comparer les effets produits par différents instruments sonores. Les observations recueillies sur ce sujet en 1865, 1867 et 1871, contiennent trop peu de résultats numériques pour qu'on puisse rien en déduire. En septembre 1874, des expériences plus complètes furent entreprises au phare flottant de Sandy Hook, à l'entrée de la baie de New-York, avec deux bateaux à vapeur, qui s'éloignaient l'un sous le vent, l'autre contre le vent, jusqu'à ce que le sifflet de leur machine ne fût

plus entendu des observateurs, stationnant sur la phare flottant. Six essais furent faits ; cinq donnèrent en moyenne, pour portée d'un sifflet avec vent favorable, 3 milles $\frac{8}{10}$ et, avec vent contraire, 1 mille $\frac{8}{10}$, ce qui conduit à une moyenne générale de 2 milles $\frac{8}{10}$. L'autre essai donna une portée plus grande par vent contraire que par vent favorable, ce qui peut s'expliquer soit par une modification dans la transparence acoustique de l'air, suivant l'hypothèse de M. Tyndall, soit par un changement de la direction du vent dans les couches un peu plus élevées de l'atmosphère, conformément aux idées de M. Henry.

En août et septembre 1875, d'autres expériences furent faites à Block Island, principalement pour constater l'influence du vent sur la portée des sons. Les résultats obtenus dans différentes directions pour les sifflets de bateau à vapeur sont donnés dans le tableau n° 9. On en déduit, pour les directions faisant avec le vent des angles variant de 45 en 45 degrés depuis 0 jusqu'à 180 degrés, les portées moyennes suivantes en milles marins :

$$3\frac{7}{10} \quad 3\frac{6}{10} \quad 2\frac{2}{10} \quad 1\frac{7}{10} \quad 1\frac{2}{10}.$$

La moyenne générale de ces nombres est 2 milles $\frac{5}{10}$. En tenant compte des expériences de 1874, qui ont donné pour les angles 0 et 180 degrés les portées 3 milles $\frac{8}{10}$ et 1 mille $\frac{8}{10}$, et en prenant pour unité la portée correspondant à 90 degrés ou au vent de travers, on obtient les valeurs proportionnelles suivantes :

1,70 1,64 1,00 0,77 0,68.

Ces résultats, qui ont été obtenus au moyen d'un petit nombre d'expériences, ne donnent pas une courbe aussi régulière que ceux des expériences de Boulogne. La formule qui les représente le mieux est

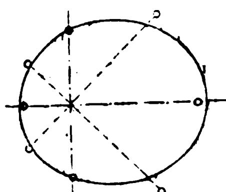
$$\rho = \frac{1}{1 - 0,45 \cos \omega};$$

elle donne, pour les angles indiqués ci-dessus, les coefficients

1,82 1,47 1,00 0,76 0,69.

La figure 3 représente ces différents résultats.

Fig. 3.



Action du vent
sur la portée d'un sifflet.
(Tableau n° 9.)

L'influence de l'angle que fait la direction des observateurs avec l'axe du pavillon de la trompette n'a pas été étudiée d'une manière complète, et les renseignements peu nombreux qui sont disséminés dans les comptes rendus ne suffisent pas pour établir une formule. Mais M. Henry a constaté en 1867, avec une oreille artificielle, la portée du son d'une trompette dans des directions faisant différents angles avec l'axe. L'instrument auquel il a donné ce nom se compose d'une membrane tendue horizontalement dans un cylindre en cuivre. Ce cylindre est terminé par un pavillon recourbé que l'on dirige vers le corps sonore. Des grains de sable ou de substances plus

légères sont placés sur la membrane, et sont plus ou moins agités lorsqu'elle est mise en vibration par des ondes sonores. En s'éloignant suffisamment, on arrive à faire cesser cette agitation, et la distance à laquelle on se trouve du corps sonore représente la portée relative à l'oreille artificielle dont on se sert. En agissant ainsi dans différentes directions faisant avec l'axe de la trompette des angles variant de 30 en 30 degrés depuis 0 jusqu'à 120 degrés, M. Henry a trouvé des portées proportionnelles aux nombres suivants :

1,44 1,28 1,17 1,00 0,72,

et la formule qui convient le mieux pour représenter ces portées est

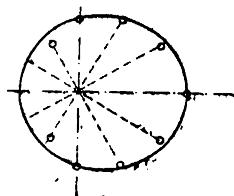
$$\rho = \frac{1}{1 - 0,3 \cos \omega};$$

elle donne, pour les mêmes angles que ci-dessus et pour ceux de 150 et 180 degrés :

1,43 1,35 1,18 1,00 0,87 0,79 0,77.

On voit qu'elle ne diffère pas beaucoup de celle qui a été précédemment trouvée, d'après les expériences françaises, pour représenter l'influence de la direction d'un réflecteur placé derrière une cloche. La figure 4 donne la courbe qui correspond à la formule, ainsi que les différents points qui résultent de l'expérience,

Fig. 4.



Influence de la direction du pavillon d'une trompette sur la portée du son.

Les portées moyennes de la trompette à sirène et de la trompette à vibrateur employées dans ces expériences sont difficiles à établir à cause du petit nombre des résultats numériques qui sont indiqués. Quant au sifflet, on a vu que la portée moyenne était de 2 milles $\frac{8}{10}$ d'après la première série d'expériences et 2 milles $\frac{5}{10}$ d'après la seconde, ce qui donne une moyenne de 2 milles $\frac{65}{100}$ ou $4^{km},9$, peu différente de celle qui a été déduite des expériences anglaises.

Quelques renseignements donnés dans les comptes rendus sur la consommation des générateurs de vapeur permettent de fixer à environ 16 chevaux le travail dépensé par la sirène. La hauteur du son qu'elle produit peut également être calculée. Le nombre de trous que contient le disque est de douze, et la vitesse a varié en général de 1 800 à 2 200 tours par minute, ce qui donne de 360 à 440 vibrations par seconde, soit en moyenne 400. Quant aux trompettes avec vibrateur, essayées dans les expériences d'Angleterre ou d'Amérique, on peut admettre, d'après l'exemple de trompettes analogues employées en France, que le travail dépensé a été d'environ 3 chevaux, et le nombre de vibrations de 450 par seconde.

EXPÉRIENCES ALLEMANDES.

L'administration de la Marine, en ordonnant ces expériences, avait pour but de faire un choix entre une vingtaine de cornets à vibrateur actionnés par une pompe à bras et destinés à faire des signaux de brume sur le pont des navires. Elles ont eu lieu en 1880 sur l'Elbe inférieur, le bateau-feu de Schülau servant de station. Tous ces cornets se ressemblaient beaucoup; quelques-uns cependant furent

jugés insuffisants et ne donnèrent lieu à aucune constatation de portée. Le tableau n° 10 contient toutes les portées qui ont été constatées pour les cornets reconnus convenables. Dans ce tableau les portées sont partagées en plusieurs groupes, suivant que le vent est favorable ou contraire, ou selon la force avec laquelle il souffle. Cette force est représentée, d'après l'échelle de Beaufort, par les nombres 1, 2, 3, 4. Une colonne contient les portées pour lesquelles le vent n'est pas indiqué.

On reconnaît que, pour un vent favorable, les portées correspondant aux forces du vent 1, 2, 3 et 4 sont en kilomètres :

5,47 5,47 3,95 3,05,

c'est-à-dire qu'après être restées stationnaires pour les faibles vitesses du vent, elles vont ensuite en diminuant lorsque cette vitesse augmente un peu jusqu'à une limite d'environ 10 mètres par seconde. C'est le contraire de ce qu'ont donné les expériences françaises, de sorte qu'il reste un doute sur le sens dans lequel varie la portée du son lorsque la vitesse du vent favorable va en augmentant. De nouvelles expériences seraient nécessaires. Lorsque le vent est contraire, les portées des expériences allemandes correspondant aux forces du vent 1, 2, 3 et 4 sont :

3,75 2,32 1,63 1,75.

Elles vont en diminuant à mesure que la vitesse du vent augmente, sauf une anomalie dans le dernier terme. Cette conséquence est conforme à celle qu'ont donnée les expériences françaises, et paraît d'ailleurs naturelle.

La moyenne des portées données par le tableau n° 10 est de $4^{km},34$ lorsque le vent est favorable, et de $2^{km},40$ pour vent contraire; la moyenne générale est $3^{km},37$. Les portées pour lesquelles le vent n'est pas indiqué donnent à peu près la même moyenne, $3^{km},38$.

Les sons produits par les différents cornets sont en général compris entre l'*ut* et le *sol*, c'est-à-dire que le nombre de vibrations varie de 522 à 783; on peut le fixer en moyenne à 650 par seconde. Quant au travail employé à la manœuvre de ces cornets, on manque de renseignements pour le calculer exactement, mais, d'après les dimensions des pompes à air mues à bras d'homme, on peut approximativement l'évaluer à $2^{kgm},5$ par seconde.

FORMULE DE LA PORTÉE DES SONS.

Les expériences qui viennent d'être sommairement analysées conduisent à des résultats pratiques d'une certaine importance, puisqu'elles font connaître, pour quelques instruments sonores habituellement employés, la portée moyenne qu'on peut leur attribuer dans la pratique. Elles permettent en outre de se faire une idée de l'influence que la direction du vent et celle de l'instrument exercent sur cette portée.

Mais il faut essayer d'aller plus loin, en établissant, s'il est possible, une formule propre à faire connaître la portée du son en fonction des divers éléments qui le caractérisent.

Parmi ces éléments figurent la hauteur et l'intensité du son. La hauteur, qui est représentée par le nombre de vibrations dans une seconde, est toujours facile à constater. Quant à l'intensité, on n'a jusqu'à présent imaginé aucun instrument pour la mesurer directement. Elle peut être définie comme étant égale à la somme de travail transmise par les vibrations du corps sonore à la couche d'air environnante, et si l'instrument sonore est convenablement établi, cette somme doit être elle-même à peu près proportionnelle à la quantité de travail employée à produire le son. C'est cette dernière quantité, toujours facile à mesurer, qui peut être introduite dans la formule des portées.

Le tableau n° 11 résume les données relatives à ces deux éléments, ainsi qu'à la portée moyenne. Il s'applique à deux des sonneries de Boulogne, à la moyenne des cornets essayés sur l'Elbe, au sifflet à vapeur et aux deux trompettes employés dans les expériences d'Angleterre et des États-Unis. Nous reproduisons ici les chiffres qui représentent le travail T en kilogrammètres par seconde, le nombre n de vibrations par seconde et la portée x en kilomètres.

	T	n	x
Petite cloche	0,33	800	1,89
Grosse cloche	1,44	600	3,04
Cornet	2,50	650	3,37
Sifflet à vapeur	37,5	1 500	4,90
Trompette à vibrateur	300,0	450	7,96
Trompette à sirène	1 200,0	400	9,44

Ces nombres vont d'abord nous conduire à une conséquence très importante, c'est que l'intensité d'un son doit décroître dans l'air beaucoup plus rapidement que ne l'indique la loi du carré des distances. Si en effet on calcule les valeurs de $\frac{T}{x^2}$ pour les six cas indiqués ci-dessus, on trouve :

0,10 0,16 0,22 1,56 4,73 13,46.

Or la portée d'un son est la distance à laquelle l'intensité de ce son est réduite à une certaine valeur limite, au-dessous de laquelle l'oreille ne perçoit plus de sensation. Cette limite est toujours la même, sauf les variations qui peuvent exister d'un observateur à l'autre et que nous négligeons. Les nombres précédents devraient donc être égaux, et si, loin d'être égaux, ils vont en croissant rapidement avec les longueurs de la portée, cela démontre qu'il faut admettre une seconde cause d'affaiblissement de l'intensité du son.

Nous nous trouvons ainsi, pour le son, dans le même

cas que pour la lumière, dont la portée varie énormément avec l'état de transparence atmosphérique. Nous sommes donc amené à considérer l'atmosphère comme ayant une action destructive sur les ondes sonores qui la traversent et, par conséquent, comme ayant, suivant l'expression de M. Tyndall, une transparence acoustique plus ou moins grande. Nous appellerons b le coefficient variable de cette transparence acoustique, ce nombre b étant plus petit que 1 et désignant la proportion d'intensité sonore que laisse passer une épaisseur de 1 kilomètre d'air.

Voici maintenant comment on peut établir la formule des portées sonores. Il ne s'agit ici que des portées moyennes, abstraction faite des perturbations qui résultent de l'action du vent ou de la direction de l'appareil.

Si T représente le travail moteur en kilogrammètres par seconde, le travail transmis aux ondes sonores sera égal à kT, en appelant k un coefficient plus petit que 1, qui pourra varier suivant les moteurs et les instruments employés. Cette quantité kT se décompose en deux parties, l'une qui est détruite en route par l'action de l'atmosphère, l'autre qui est transmise à l'onde sonore située à la distance x et qui peut être représentée par

$$kTb^x.$$

D'un autre côté, le travail de cette onde est proportionnel à la masse d'air en mouvement mx^2 et au carré α^2 de l'amplitude de la vibration. Le travail des n ondes sonores émises pendant une seconde peut donc être représenté par

$$nm\alpha^2x^2.$$

de sorte qu'on a :

$$kTb^x = nm\alpha^2x^2$$

ou

$$\frac{Tb^x}{nx^2} = \frac{1}{k}m\alpha^2.$$

Cette formule indique la loi suivant laquelle diminue

l'amplitude α pour des ondes de plus en plus éloignées du corps sonore. Lorsque cette amplitude a atteint une certaine limite inférieure α', l'observateur n'éprouve plus de sensation. Si donc on pose

$$\frac{1}{k}m\alpha'^2 = \theta,$$

l'équation

$$\frac{Tb^x}{nx^2} = \theta,$$

résolue par rapport à x, donnera la portée du son dont il s'agit.

Nous n'avons aucun moyen de déterminer le coefficient θ, qui dépend de plusieurs éléments, ni les différents coefficients b de transparence acoustique qui correspondent aux observations ci-dessus indiquées. Mais comme les portées données dans le tableau n° 11 pour les six instruments sonores résultent en général d'un assez grand nombre d'observations et peuvent être considérées comme des portées moyennes, on peut admettre qu'elles correspondent à l'état moyen de transparence acoustique. Dès lors b et θ ayant les mêmes valeurs dans les six équations qui résultent de l'application de la formule aux données du tableau, on a six équations pour déterminer deux inconnues, et si ces équations sont à peu près satisfaites par un même système de valeurs, on aura, dans une certaine mesure, une confirmation des considérations qui précèdent.

Pour résoudre ces équations, prenons les logarithmes des deux membres ; il vient :

$$\log \frac{T}{nx^2} = (-\log b)\,x + \log \theta.$$

Posons

$$\log \frac{T}{nx^2} = y,$$

il vient alors :

$$= (-\log b)\,x + \log \theta.$$

Si donc on calcule les six valeurs de y au moyen des valeurs de T, n et x du tableau, et si on les associe aux valeurs correspondantes de x, on aura les coordonnées de six points qui devront se trouver sur une même ligne droite, dont l'inclinaison aura pour tangente trigonométrique la valeur de (— log b), et dont l'ordonnée à l'origine donnera log θ.

Ces six valeurs de y, en y ajoutant cinq unités pour éviter les caractéristiques négatives, sont :

$$1{,}063 \quad 1{,}414 \quad 1{,}530 \quad 2{,}018 \quad 3{,}022 \quad 3{,}527\,;$$

elles correspondent aux valeurs de x,

$$1{,}89 \quad 3{,}04 \quad 3{,}37 \quad 4{,}90 \quad 7{,}96 \quad 9{,}44.$$

L'équation de la droite qui se rapproche le plus de ces six points est

$$y = 0{,}325\,x + 0{,}442\,;$$

elle donne pour les mêmes valeurs de x les six valeurs de y suivantes :

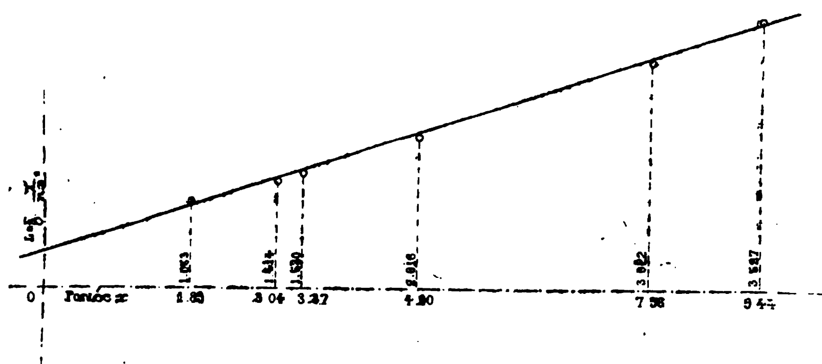
$$1{,}056 \quad 1{,}430 \quad 1{,}537 \quad 2{,}034 \quad 3{,}029 \quad 3{,}510,$$

lesquelles diffèrent des vraies valeurs de

$$-\,0{,}007 \quad +\,0{,}016 \quad +\,0{,}007 \quad +\,0{,}016 \quad +\,0{,}007 \quad -\,0{,}017.$$

Ces différences sont très faibles et prouvent l'accord de la formule avec l'expérience. La figure 5 représente les positions des six points qui viennent d'être considérés et de la droite qui s'en rapproche le plus.

Fig. 5.



Formule de la portée des sons.
(Tableau n° 11.)

Les coefficients b et θ se calculent ensuite facilement :

$$-\log b = 0{,}325 \qquad \log b = \bar{1}{,}675 \quad b = 0{,}473$$

$$\log \theta = 0{,}442 - 5{,}000 = \bar{5}{,}442 \quad \theta = 0{,}000\ 0277$$

Ainsi la transparence acoustique moyenne de l'atmosphère résultant des expériences précédemment analysées est représentée par le coefficient $b = 0{,}473$, ce qui veut dire qu'après avoir traversé une épaisseur de 1 kilomètre d'air, l'intensité sonore est réduite à un peu moins de moitié de ce qu'elle serait d'après la loi du carré des distances.

La formule qui donne pour cet état moyen de l'atmosphère la portée des sons est :

$$\frac{T\,(0{,}473)^x}{nx^2} = 0{,}000\ 0277$$

ou en logarithmes :

$$\log \frac{T}{nx^2} = 0{,}325\,x + \bar{5}{,}442.$$

Il ne faut pas oublier que les coefficients qui entrent dans cette formule ont été obtenus au moyen de données un peu incertaines et d'hypothèses plus ou moins contes-

tables, de plus, il n'est pas sûr qu'elle corresponde à la véritable moyenne de la transparence acoustique de l'atmosphère ; enfin la manière d'évaluer l'intensité d'un son par le travail dépensé est évidemment imparfaite, lorsqu'il s'agit de sons intermittents dont la durée ainsi que celle des intervalles peuvent varier. Mais en attendant que des renseignements plus complets permettent d'établir une formule définitive, on peut, sans qu'on ait à craindre de grave erreur pratique, employer celle qui vient d'être donnée pour déterminer en kilomètres la portée moyenne d'un son correspondant à n vibrations et à T kilogrammètres par seconde, et émis d'une manière intermittente dans les conditions habituelles de la pratique. Cette formule va nous servir à expliquer quelques anomalies et à résoudre quelques questions.

CONSÉQUENCES DE LA FORMULE DE LA PORTÉE DES SONS.

Dans le compte rendu des expériences américaines on trouve pour la trompette à sirène des portées exceptionnelles de 15 ou 17 milles; il est même question d'une portée de 30 milles observée par une flottille de pêcheurs ; mais cette dernière distance, estimée par la durée d'un voyage, est douteuse. En Angleterre on signale également des portées de 12 ou 15 milles, observées aux environs de Douvres. D'un autre côté, dans les mêmes expériences de Douvres, M. Tyndall, placé sur un bateau à 2 milles seulement de la sirène, par un temps clair et chaud, n'a rien entendu, et c'est à cette occasion qu'il a émis l'idée des variations que peut éprouver la transparence acoustique de l'air.

La formule précédente permet de se rendre compte de ces différents faits. On peut en effet déterminer le coefficient de transparence acoustique qu'a dû présenter l'atmosphère

pour donner au son de la sirène chacune des portées exceptionnelles qui ont été observées. Considérons des portées, en milles marins, de

30 20 15 10 5,1 3 2 1,5

et donnons à x les valeurs correspondantes en kilomètres,

55,56 37,04 27,78 18,52 9,44 5,56 3,70 2,78,

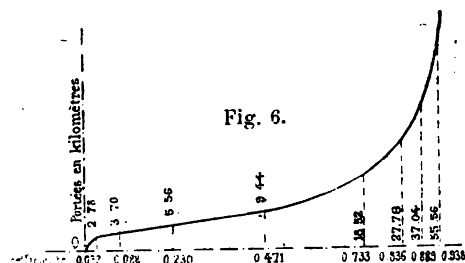
T et n ayant les valeurs 1 200 et 400 qui correspondent à la sirène, la formule

$$\frac{Tb^x}{nx^2} = \theta, \quad \text{d'où} \quad \log b = \frac{1}{x}(2\log x - 5{,}035),$$

donne pour les valeurs de b correspondant aux six valeurs de x :

0,938 0,889 0,836 0,733 0,471 0,230 0,088 0,032.

Ces résultats sont représentés sur la figure 6.



Coefficient de transparence acoustique correspondant à différentes portées.

Il suffit donc de supposer que le coefficient de transparence acoustique b peut varier de 0,938 à 0,032 pour expliquer, sans même avoir recours à l'action du vent, les grandes variations que peut présenter la portée d'une même sirène, et il est possible que ce coefficient varie entre des limites encore plus étendues. On expliquerait de même

les autres anomalies qui se rencontrent souvent dans les expériences sur la portée des sons.

La même formule permet aussi de se faire une idée du travail qu'il faudrait dépenser pour obtenir une portée moyenne déterminée, avec un instrument sonore convenablement approprié. La sirène expérimentée en Amérique et en Angleterre ayant donné une portée moyenne de 5 milles $\frac{1}{10}$ avec une dépense de force d'environ 16 chevaux, supposons qu'il s'agisse d'obtenir avec un instrument analogue des portées, en milles marins, de

5,5 6 6,5 7 7,5 8,

il faut, dans la formule, donner à x les valeurs correspondantes en kilomètres,

10,19 11,11 12,04 12,96 13,89 14,82.

En conservant les valeurs $n = 400$ et $\log b = -0,325$, la formule devient :

$$\log \frac{T}{75} = 0,325\,x + 2 \log x + \bar{4},16947,$$

et l'on trouve pour les valeurs de $\frac{T}{75}$ ou du travail moteur en chevaux :

31 74 175 404 931 2127.

La figure 7 représente ces résultats.

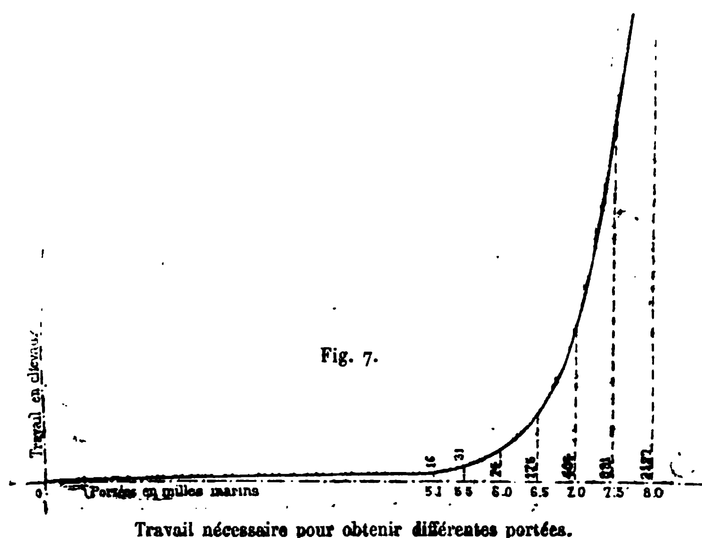


Fig. 7.

Travail nécessaire pour obtenir différentes portées.

On voit quelles énormes quantités de travail il faudrait dépenser pour obtenir des augmentations de portée relativement assez faibles. La question est ici la même que pour les portées lumineuses. On n'a pu songer à accroître sérieusement la portée des grands phares que lorsque les courants électriques ont permis d'établir des lumières intenses avec une dépense relativement faible; on ne pourrait de même augmenter notablement la portée des signaux sonores actuels que s'il survenait dans les moyens de produire le son une révolution analogue à celle qu'a apportée l'électricité dans la production de la lumière.

Une autre question que la formule précédente permet également de résoudre est relative à la détermination des différentes courbes de portées que donne un signal sonore sous l'action du vent lorsque la transparence acoustique varie. Dans les expériences de Boulogne sur les cloches, on a constaté que, pour un vent qui ne dépasse pas une forte

brise, les portées se distribuent autour de l'horizon suivant la loi donnée pour la formule suivante :

$$\rho = \frac{1}{1 - 0,5 \cos \omega},$$

ω étant l'angle de l'observateur avec la direction dans laquelle va le vent, et la portée qui correspond à 90 degrés étant prise pour unité. En appliquant cette formule à l'une des sonneries de la petite cloche dont la portée moyenne est de 1 mille $\frac{89}{100}$, on trouve pour les portées, en milles marins, correspondant aux angles 0°, 22° 1/2, 45°,... 180°:

3,78 3,52 293 2,34 1,89 1,59 1,40 1,29 1,27.

Ces portées sont relatives à la moyenne de la transparence acoustique pour laquelle $b = 0,473$. Pour d'autres valeurs de b elles augmenteront ou diminueront, mais ne resteront pas proportionnelles entre elles, et il est intéressant de savoir comment elles varieront. Il faut pour cela déterminer à quelle valeur initiale de T correspond chacune des portées, et on y parvient en résolvant l'équation générale, qui, pour $n = 800$, devient :

$$\log T = 0,325\, x + 2 \log x + \bar{2},345.$$

En donnant à x les neuf valeurs ci-dessus, on trouve :

T = 5,35 3,82 1,70 0,70 0,33 0,18 0,12 0,10 0,09.

Il suffit maintenant de résoudre par rapport à x l'équation

$$\frac{Tb^x}{800\, x^2} = 0,000\,0277$$

en y portant successivement les valeurs de T qui viennent d'être calculées et un certain nombre de valeurs de b, par exemple, celles qui ont été déterminées ci-dessus, pour expliquer quelques anomalies des observations. On forme ainsi le tableau n° 12. Dans ce tableau, les valeurs des

portées, dont le calcul serait très long, ont été déterminées approximativement au moyen du tableau graphique des portées lumineuses formant la planche V du *Mémoire sur l'intensité et la portée des phares*. Ce tableau sert à résoudre l'équation :

$$\frac{La^x}{x^2} = 0{,}01;$$

les valeurs de L sont indiquées dans la première colonne verticale à gauche, les valeurs de a dans la bande horizontale inférieure, et les valeurs de x se trouvent sur la ligne inclinée qui passe par le point dont L et a sont les coordonnées. Pour que ce tableau graphique puisse servir à résoudre la formule des portées acoustiques

$$\frac{Tb^x}{nx^2} = \theta,$$

il faut poser

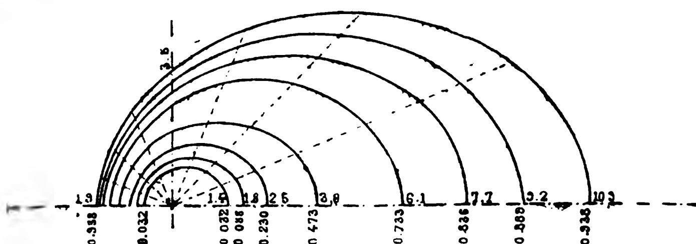
$$b = a \quad \text{et} \quad \frac{0{,}01\,T}{n\theta} = L.$$

Cette dernière relation devient, pour le cas présent,

$$\frac{0{,}01\,T}{800 \times 0{,}000\,0277} \quad \text{ou} \quad \frac{T}{2{,}216} = L.$$

Les différentes valeurs de $\frac{T}{2{,}216}$ sont indiquées en tête du tableau n° 12, et il est ensuite facile de trouver x graphiquement. On reconnaît que le rapport entre la portée par vent favorable et la portée par vent contraire est égal à 2,9 pour l'état moyen de transparence acoustique, qu'il s'élève à 8,7 pour une atmosphère de grande transparence acoustique, et s'abaisse au contraire à 2,0 pour un état d'opacité acoustique. Les courbes des portées qui, pour la cloche dont on s'occupe, correspondent aux différentes valeurs de b, sont tracées sur la figure 8 d'après les chiffres du tableau n° 12.

Fig. 8.



Portées d'une cloche sous l'action du vent pour différents états de transparence acoustique. (Tableau n° 12.)
Échelle de $0^m,005$ pour 1 kilomètre.

On peut établir un tableau semblable pour les sons produits par une trompette à sirène. Pour y parvenir, il faut d'abord admettre que la valeur initiale de T, qui est en moyenne de 1200, se trouve, par suite de l'action du vent, modifiée de la même manière que pour la cloche précédente, c'est-à-dire qu'elle devient, dans les différentes directions, proportionnelle aux nombres déjà trouvés pour la cloche : 5,35 3,82 1,70, etc. On a ainsi les neuf valeurs suivantes :

T = 19454 12982 6182 2545 1200 654 436 364 327.
Il faut alors résoudre l'équation :

$$\frac{Tb^x}{400\,x^2} = 0{,}000\,0277,$$

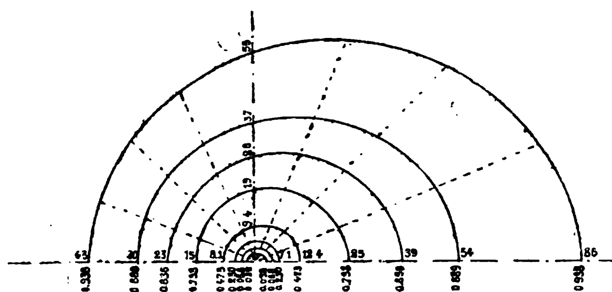
en y portant successivement les neuf valeurs de T qui viennent d'être calculées et les différentes valeurs de b déjà employées dans le tableau n° 11. En agissant comme pour le cas précédent, on voit qu'on peut utiliser le tableau graphique des portées lumineuses, pourvu qu'on pose

$$\frac{T}{1{,}108} = L.$$

Les résultats sont indiqués dans le tableau n° 13, et les

courbes qui en résultent sont tracées sur la figure 9. Le rapport entre les portées par vent favorable et par vent

Fig. 9.



Portées d'une trompette sous l'action du vent pour différents états de transparence acoustique. (Tableau n° 13.)
Échelle de 0m,0005 pour 1 kilomètre.

contraire varie moins que dans le cas précédent. Il est 1,53 pour l'état moyen, il s'élève à 2,00 pour une atmosphère de grande transparence acoustique, et s'abaisse à 1,36 pour un état d'opacité acoustique.

Les deux figures 8 et 9 sont la traduction graphique des tableaux nos 12 et 13, à l'échelle de 5 millimètres par kilomètre pour la première et de 5 dixièmes de millimètre par kilomètre pour la seconde. Elles permettent de se rendre compte de l'influence qu'exerce sur la portée d'un son, soit la direction du vent, soit l'état de transparence acoustique de l'air. L'influence de cette dernière cause peut devenir dans certaines circonstances tout à fait prépondérante; mais nous ignorons quelle peut être la fréquence de ces cas exceptionnels.

J'ai à ajouter quelques considérations sur l'influence de la direction du vent. Cette influence semble toute naturelle et l'on conçoit très bien que le vent porte le son vers l'observateur. Mais l'explication numérique du phénomène est moins facile à trouver.

Si l'on considère une masse d'air se mouvant parallèlement à elle-même avec une vitesse uniforme, un son produit en un point fixe quelconque se propagera suivant des ondes sphériques qui seront elles-mêmes entraînées dans le mouvement de la masse ; de sorte que, si deux observateurs sont situés à égale distance de la source sonore, l'un sous le vent, l'autre en sens contraire, le premier percevra le son comme s'il provenait d'une source moins éloignée, et par conséquent comme s'il avait une intensité plus grande ; ce sera le contraire pour le second observateur. Pour se trouver à la limite de la portée, le premier devra s'éloigner, et le second se rapprocher de la source sonore. Considérons, par exemple, la trompette à sirène, dont la portée est de $9^{km},44$ dans un air en repos et pour l'état moyen de transparence acoustique. Si l'on suppose que l'air se meuve uniformément avec une vitesse de 10 mètres par seconde, et si l'on prend 340 mètres pour la vitesse du son, les portées sous le vent et contre le vent deviendront :

$$9,44 \times \frac{340 + 10}{340} = 9^{km},72 \text{ et } 9,44 \times \frac{340 - 10}{340} = 9^{km},16,$$

tandis que, d'après le tableau n° 13, ces portées pour $b = 0,473$ devraient être :

$$12^{km},40 \text{ et } 8^{km},10 ;$$

leur rapport devrait être 1,53, et il n'est que $\frac{9,72}{9,16} = 1,06$.

Ainsi le transport des ondes sonores par un vent de vitesse uniforme contribue bien à augmenter la portée dans un sens et à la diminuer dans l'autre ; mais il la modifie dans une proportion beaucoup moindre que celle qui a été observée ; de sorte que cette explication est insuffisante.

Mais le vent n'a pas la même vitesse dans toutes les parties de la masse d'air en mouvement. On a constaté que la vitesse augmente à mesure qu'on s'élève au-dessus du sol jusqu'à une certaine limite, et ce fait

s'explique par le frottement que les couches inférieures de l'air en mouvement éprouvent sur les aspérités du sol. On n'a à ce sujet que très peu de renseignements; quelques observations faites à Perpignan semblent indiquer qu'en représentant par 1 la vitesse du vent au niveau du sol, cette vitesse devient 1,23, 1,63, 1,81 à 7, 18, 31 mètres de hauteur. Si, en tenant compte de ces rapports et en admettant différentes valeurs de la vitesse, on recherche la forme que prend la surface de l'onde, ou celle de la trajectoire des rayons sonores, on n'arrive pas à en déduire une augmentation certaine d'intensité dans la direction du vent. Il faudrait en effet trouver ou que les rayons de courbure de la surface de l'onde ont été augmentés, ou que la divergence des rayons sonores a été diminuée, et c'est ce qui ne paraît pas résulter en général de cet accroissement de la vitesse du vent avec la hauteur.

Je crois pouvoir signaler une autre considération qui conduirait peut-être à un meilleur résultat. Le corps sonore lui-même, ou le bâtiment dans lequel il se trouve, étant placé au milieu de la masse d'air en mouvement, exerce sur les couches d'air qui viennent le toucher une action retardatrice qui se communique aux couches voisines jusqu'à une certaine distance. Il en résulte que les trajectoires des rayons sonores sont déviées tout autour de l'instrument dans le sens du vent, de sorte que la divergence est augmentée d'un côté et diminuée de l'autre; ce qui entraîne une diminution ou une augmentation d'intensité, indépendamment de l'effet déjà signalé comme résultant de la translation parallèle de l'onde. Les données manquent pour faire à ce sujet un calcul concluant; mais si l'on fait quelques hypothèses plus ou moins plausibles, on arrive à des variations d'intensité qui, tout en étant dans le sens indiqué par les expériences, restent encore bien loin de la réalité; de sorte que le phénomène dont il s'agit doit être considéré comme n'étant pas encore suffisamment expliqué.

Il reste enfin à examiner l'influence de la hauteur d'un son sur sa portée. D'après la formule qui a été établie, la portée dépend, non de la quantité totale T de travail employée par seconde à produire le son, mais de la quantité $\frac{T}{n}$ employée à produire une vibration. Cela résulte de ce que, d'après l'hypothèse admise, la sensation de l'auditeur cesse lorsqu'on arrive à une certaine limite inférieure, non pas du travail total des ondes dans un temps donné, mais de l'amplitude des ondes, quel que soit leur nombre. Cette seconde hypothèse, qui est plus plausible en théorie, paraît aussi s'accorder mieux que l'autre avec les résultats des expériences précédemment analysées.

En admettant donc que le nombre n des vibrations doive être conservé dans la formule, on reconnaît que si, en dépensant une quantité constante de travail, on fait produire à un instrument sonore une série de notes différentes, la portée du son variera, et il est intéressant de savoir quelle est l'importance de cette variation. Supposons que la trompette à sirène, qui a été considérée comme faisant en moyenne 400 vibrations par seconde, produise successivement les sons d'une gamme de 300 à 600 vibrations, en dépensant constamment 1 200 kilogrammètres par seconde; en admettant que l'état moyen de transparence acoustique corresponde à $b=0,473$, les portées seront :

pour $n =$	300	337,5	375	400	450	500	562,5	600,
$x =$	9,78	9,66	9,55	9,48	9,36	9,25	9,13	9,06.

La portée diminue donc de 2, de 4 ou de 7 p. 100, lorsqu'on passe de la tonique à la tierce, à la quinte ou à l'octave supérieure. Si l'on considère les cornets essayés en Allemagne, pour lesquels le nombre moyen de vibrations est de 650, et si l'on suppose qu'on produise successivement, avec la même quantité de travail, $2^{\text{kgm}},5$ par seconde, les sons d'une gamme allant de 487,5 à 975 vi-

brations, on trouve pour les portées correspondant à l'état moyen de l'atmosphère :

$$x = 3{,}58 \quad 3{,}49 \quad 3{,}41 \quad 3{,}36 \quad 3{,}27 \quad 3{,}19 \quad 3{,}10 \quad 3{,}05.$$

Dans ce cas, la portée diminue de 5, de 9 ou de 15 p. 100, suivant qu'on passe de la tonique à la tierce, à la quinte ou à l'octave. Ainsi les différences de portées de deux notes sont proportionnellement d'autant plus grandes que le son est moins intense.

En faisant le même calcul pour différentes valeurs du coefficient de transparence acoustique, on forme le tableau n° 14, dans lequel sont indiquées, pour les valeurs de b déjà considérées, les portées d'une sirène produisant avec la même quantité de travail de 1 200 kilogrammètres par seconde, les sons d'une gamme de 300 à 600 vibrations. On y voit que la perte relative de portée diminue lorsque la portée elle-même s'abaisse par suite de l'opacité acoustique de l'atmosphère.

On pourrait appliquer des considérations analogues aux rayons lumineux de différentes couleurs. En prenant pour unité le nombre moyen de vibrations des parties visibles du spectre, soit 600 trillions par seconde, le nombre moyen de vibrations des différentes couleurs sera, en commençant par le rouge,

$$n = 0{,}83 \quad 0{,}88 \quad 0{,}93 \quad 1{,}00 \quad 1{,}08 \quad 1{,}14 \quad 1{,}21.$$

Si l'on admet que l'équation des portées doive s'écrire

$$\frac{La^x}{nx^2} = 0{,}01,$$

on trouvera qu'une lumière colorée, d'une intensité équivalant à une carcel, aura, pour la valeur moyenne du coefficient de transparence lumineuse $a=0{,}903$, les portées suivantes en kilomètres :

$$x = 7{,}46 \quad 7{,}32 \quad 7{,}18 \quad 7{,}00 \quad 6{,}82 \quad 6{,}67 \quad 6{,}52.$$

La portée va donc en diminuant depuis le rouge jusqu'au

violet. Si l'on voulait supposer un coefficient de transparence atmosphérique différent pour chaque coloration, on le trouverait en calculant les valeurs de a qui, pour une lumière égale à l'unité, donnent les portées précédentes. Ces valeurs sont :

$$a = 0{,}927 \quad 0{,}919 \quad 0{,}911 \quad 0{,}903 \quad 0{,}893 \quad 0{,}885 \quad 0{,}877.$$

En faisant le même calcul pour un temps brumeux correspondant, par exemple, à $a=0{,}058$, on arriverait de la même manière aux portées et aux coefficients suivants :

$$x = 1{,}433 \quad 1{,}419 \quad 1{,}405 \quad 1{,}389 \quad 1{,}373 \quad 1{,}363 \quad 1{,}352,$$
$$a = 0{,}065 \quad 0{,}063 \quad 0{,}061 \quad 0{,}058 \quad 0{,}055 \quad 0{,}053 \quad 0{,}051.$$

Je n'insiste pas davantage sur ces considérations, qui pourraient servir à expliquer la coloration rougeâtre des feux pendant la brume et à faire voir combien la composition différente des lumières produites par le gaz, l'huile ou l'électricité influe peu sur leur portée.

CARACTÈRES DES SIGNAUX SONORES.

Les signaux sonores doivent, comme les phares lumineux, présenter des caractères particuliers qui permettent de les distinguer les uns des autres. En Amérique, où ce système d'avertissement est très développé, les caractères distinctifs sont fondés sur la durée des sons et des intervalles qui les séparent. D'après les dernières publications, il y a aux États-Unis 61 signaux sonores, dont 34 sifflets à vapeur, 10 trompettes à vibrateur et 17 trompettes à sirène. Ces instruments produisent des signaux très variés, dont le détail est indiqué dans le tableau n° 15. Les uns, au nombre de 45, se composent d'un seul son qui se reproduit à des intervalles déterminés. La durée du son varie de 3 à 15 secondes, celle de l'intervalle de 14 à 90 secondes, et la durée moyenne du son est égale à 0,14 ou $\frac{1}{7}$ du temps

total. Les 16 autres signaux, donnés par 13 sifflets et 3 trompettes, se composent de deux sons présentant des durées et des intervalles très variables, comme on peut le voir sur le tableau. Le rapport de la durée des deux sons au temps total est 0,18. Si l'on considère à part les 17 trompettes à sirène à un ou deux sons, on reconnaît que la durée des sons forme seulement les 0,12 du temps total.

Les caractères de ces signaux, fondés sur les durées des sons et des silences, ressemblent à ceux des phares, qui, sauf le cas des feux fixes, résultent en général de l'intervalle de temps séparant les éclats. Mais il est reconnu aujourd'hui que ce moyen de distinguer les feux n'est pas sans inconvénient : car, à moins d'employer une horloge ou d'avoir une habitude spéciale, il n'est pas facile de juger si un intervalle est d'une minute ou de trente secondes, et la difficulté serait encore plus grande pour des intervalles différant seulement de quelques secondes. Aussi la Commission des phares de France a-t-elle admis l'utilité d'essayer, pour les nouveaux phares électriques, des caractères fondés sur un autre principe, qui consiste à faire produire par l'appareil optique soit un éclat, soit plusieurs éclats consécutifs formant un groupe, et à séparer cet éclat ou ce groupe des suivants par une éclipse suffisamment prolongée. Le phare est alors caractérisé par un chiffre 1, 2, 3 ou 4, et il suffit de compter les éclats pour reconnaître le caractère.

Le même système de caractères peut évidemment être appliqué aux signaux sonores qui doivent être établis à proximité d'un certain nombre de phares électriques, et il est naturel de faire émettre par l'instrument autant de sons consécutifs que le phare voisin produit d'éclats. On aurait ainsi des trompettes à sirène donnant soit un son, soit deux, trois ou quatre sons consécutifs, suivis d'un silence suffisamment long. Les phares électriques ont une

autre série de quatre caractères qui ne diffèrent des premiers qu'en ce qu'ils sont séparés par un éclat rouge apparaissant au milieu de la grande éclipse. Mais il est inutile d'imaginer une distinction analogue pour les signaux sonores, les quatre caractères déjà indiqués devant parfaitement suffire : d'abord parce qu'un certain nombre de phares ne seront pas accompagnés de trompette, et ensuite parce que deux phares électriques consécutifs n'ont jamais le même nombre d'éclats, lors même qu'ils sont différenciés par la présence ou l'absence de l'éclat rouge.

Si, pour fixer les idées, nous attribuons une durée de trois secondes aux sons et de deux secondes à l'intervalle qui les sépare, voici comment pourrait être établie la durée totale de chaque signal, les chiffres entre parenthèses se rapportant aux sons :

	Durées, en secondes, des sons et des intervalles.	Durée totale, en secondes, du signal.	Rapport de la durée des sons au temps total.
Signal à 1 son.. .	(3) 27	30	0,10
Signal à 2 sons. .	(3) 2 (3) 32	40	0,15
Signal à 3 sons. .	(3) 2 (3) 2 (3) 37	50	0,18
Signal à 4 sons. .	(3) 2 (3) 2 (3) 2 (3) 42	60	0,20

Ces durées ont été choisies de manière à donner, pour les signaux de un ou deux sons, un rapport de la durée des sons au temps total égal en moyenne à celui qui résulte du tableau n° 15 pour les sirènes américaines; mais elles n'ont rien d'essentiel et pourront être modifiées dans la pratique; ce qu'il y a de caractéristique, c'est seulement le nombre des sons qui se succèdent pour former un groupe.

On remarquera que la durée du grand intervalle silencieux, ainsi que la durée totale du signal, vont en croissant un peu avec le nombre des sons. Malgré cela le rapport de la durée totale des sons à la durée totale du signal va en

augmentant de $\frac{1}{10}$ à $\frac{1}{5}$. Il en résulte que la quantité d'eau consommée pour le fonctionnement de la trompette varierait suivant les cas du simple au double, et comme l'approvisionnement de l'eau constituera sur plusieurs points une difficulté sérieuse, il y aurait intérêt à en réduire autant que possible la consommation.

On y parviendrait en ramenant les deux derniers signaux, qui emploient trois et quatre sons, à n'en avoir que deux, comme le second; mais alors il faudrait adopter deux sons d'inégale hauteur. Une trompette à sirène peut être disposée de manière à produire successivement deux sons, à la tierce l'un de l'autre, par exemple. Ces deux sons successifs, dont le second est plus élevé que le premier, produiront sur l'auditeur un effet tout autre que celui de deux sons égaux, et, si l'on intervertit l'ordre des deux sons inégaux de manière à commencer par le plus élevé pour finir par le plus bas, on obtiendra un autre signal, qui sera encore très distinct des précédents.

On disposera ainsi de quatre signaux, sans dépasser le nombre de deux sons par signal, savoir :

Signal à un seul son;
Signal à deux sons égaux;
Signal à deux sons inégaux, allant en montant;
Signal à deux sons inégaux, allant en descendant.

Il n'y a pas à se préoccuper de la différence de portée que peuvent présenter deux sons à la tierce l'un de l'autre. On peut voir sur le tableau n° 14 que, pour une trompette à sirène et dans l'état moyen de l'atmosphère, ces portées sont $9^{km},8$ et $9^{km},6$; elles ne diffèrent que de $0^{km},2$ ou de 2 p. 100 environ. Lorsque les portées augmentent par suite d'un état plus favorable de l'atmosphère, la différence diminue en valeur relative, mais augmente un peu en valeur absolue; ainsi, pour une portée de $19^{km},3$ la différence est

$0^{km},6$. Lorsque les portées sont plus petites, c'est le contraire qui a lieu ; mais alors la valeur absolue de la différence devient tout à fait négligeable : ainsi, lorsque la sirène ne s'entend qu'à $3^{km},79$, le son à la tierce s'entendrait à $3^{km},72$.

Les deux systèmes qui viennent d'être indiqués paraissent également propres à caractériser très nettement les différents signaux sonores. Le premier a l'avantage d'être tout à fait conforme à celui des signaux lumineux produits par les phares électriques; il est, de plus, très facile à comprendre. Le second a l'avantage de donner plus rapidement le caractère du signal et de dispenser, pour ainsi dire, de compter les sons ; il est d'ailleurs plus économique, puisqu'il exigera, dans la moitié des cas, une moindre consommation d'eau.

On pourra donc adopter l'un ou l'autre de ces systèmes, et il est même possible que dans l'avenir on soit obligé d'employer les deux, si le nombre des signaux sonores se multiplie.

Le tableau n° 16 fait connaître les noms et les caractères des 43 phares électriques, dont 3 doubles, qui doivent être établis sur le littoral français. Il indique en outre les caractères qui pourront être attribués aux signaux sonores voisins de ces phares, dans l'un ou l'autre des deux systèmes qui viennent d'être examinés. Le nombre des signaux à installer immédiatement sera seulement de 20 ; mais on voit que, même dans le cas où ce nombre serait ultérieurement porté à 43, chacun de ces deux systèmes permettrait de leur attribuer à tous des caractères nettement tranchés.

Paris, septembre 1882.

AVIS DE LA COMMISSION DES PHARES.

La Commission des phares,

Vu la lettre ci-après adressée le 3 novembre 1882, par M. l'Inspecteur général Allard, à M. le Ministre des Travaux Publics.

« L'avant-projet général de l'éclairage électrique des « côtes de France comprend l'installation de signaux « sonores à vapeur dans quelques-uns des phares projetés. « Le nombre de ces signaux a été fixé à vingt environ, « mais les emplacements qu'ils doivent occuper n'ont pas « été indiqués.

« Je pense, Monsieur le Ministre, que le moment est « venu d'examiner cette question. MM. les Ingénieurs des « services maritimes, qui ont été invités à commencer les « études des projets relatifs à l'éclairage électrique, ont pu « me faire connaître leur avis sur le choix des emplace- « ments où des signaux sonores pourraient être établis, « et je pense que vous jugerez convenable de soumettre « cette affaire à l'examen de la Commission des phares.

« Je fais connaître, dans un état ci-joint, l'analyse des « propositions présentées par MM. les Ingénieurs en chef, « et j'ajoute, dans une colonne d'observations, mon avis « sur chacune de ces propositions. Le résumé qui termine « cet état comprend 14 phares dans lesquels on peut dès « maintenant décider l'établissement d'un signal sonore, « 7 phares pour lesquels la question peut être réservée et « soumise à un nouvel examen, et enfin 22 phares dans « lesquels il ne paraît pas y avoir lieu d'établir actuelle- « ment un signal sonore. La Commission apportera peut- « être quelques modifications à ce classement, mais on

« peut prévoir que, dans tous les cas, le nombre total des « signaux sonores à établir ne s'éloignera pas beaucoup « du nombre 20, qui avait été prévu dans l'avant-projet.

« Une seconde question qui me paraît également devoir « être soumise à l'examen de la Commission des phares, « est celle des caractères à attribuer à ces signaux « sonores. Dans un mémoire sur la portée des sons, dont « vous avez bien voulu autoriser l'impression, et qui sera « distribué aux membres de la Commission, j'ai indiqué « deux systèmes de caractères entre lesquels on peut « choisir. L'un, tout à fait semblable à celui des phares « électriques, consiste à faire produire par les trompettes « 1, 2, 3 ou 4 sons formant un groupe et séparés des « autres groupes par des intervalles suffisants. Dans le « second système, on n'emploie que 1 ou 2 sons par signal; « mais ces deux sons peuvent être ou égaux ou d'une « hauteur inégale, et, dans ce dernier cas, ils peuvent « se succéder en montant ou en descendant; on obtient « ainsi 4 signaux distincts sans dépasser le nombre « de 2 sons par signal, ce qui procure une sérieuse éco- « nomie de dépense. La Commission aura à se prononcer « sur le choix à faire entre ces systèmes de caractères.

« Je me résume, Monsieur le Ministre, en vous priant « de vouloir bien renvoyer à l'examen de la Commission « des phares les deux questions que je viens d'indiquer et « qui concernent, l'une, le choix des emplacements où « doivent être établis des signaux sonores, l'autre, l'indi- « cation des caractères à leur attribuer. »

Vu l'état joint à la lettre ci-dessus dans lequel sont résumées les propositions de MM. les Ingénieurs en chef et les avis de M. l'Inspecteur général Allard relativement à l'installation des signaux sonores en question;

Vu le mémoire rédigé, par M. l'Inspecteur général Allard, *sur la portée des sons et sur les caractères à attribuer aux signaux sonores;*

Considérant,

En ce qui concerne les emplacements,

Qu'il convient d'adopter en principe la classification en trois catégories proposée par M. l'Inspecteur général Allard, sous la réserve de quelques modifications à introduire dans la répartition;

En ce qui concerne les caractères,

Que le deuxième système indiqué (emploi d'un ou de deux sons de hauteur égale et inégale) semble le plus avantageux, mais qu'il est nécessaire, avant de statuer définitivement, d'attendre les résultats que sa mise en pratique fera connaître;

Est d'avis :

1° Que l'établissement d'un signal sonore peut être décidé dès maintenant pour les sept phares électriques suivants :

Gris-Nez, Barfleur, la Hague, Fréhel, île Vierge, Créac'h d'Ouessant, Planier.

2° Que la question sera étudiée pour être résolue ultérieurement, en ce qui concerne les quinze phares suivants :

Cayeux, l'Ailly, Ver, Paimpol, Sept-îles, île de Groix, Belle-Ile, le Pilier, l'île d'Yeu, les Baleines, Chassiron, Cordouan, Porquerolles, Giraglia, Pertusato.

3° Qu'il n'y a pas lieu d'établir actuellement du moins, un signal sonore dans les vingt et un phares suivants :

Dunkerque, Calais, la Canche, Fécamp, la Hève, Carteret, Chausey, île de Bas, île de Sein, Penmarc'h, Hourtin, Arcachon, Contis, Biarritz, cap Béarn, mont d'Agde, Faraman, la Garoupe, Calvi, île Sanguinaire, Alistro.

4° Qu'il convient, avant de statuer définitivement sur le système à adopter pour caractériser les signaux sonores, d'expérimenter dans quatre phares convenablement choisis la deuxième combinaison indiquée par M. l'Inspecteur général Allard.

TABLEAU N° 1.

Expériences françaises.

Petite cloche de 98 kilogrammes avec ou sans réflecteur. — Marteau de 2 kilog. 5, frappant 15 ou 25 coups par minute.

NUMÉROS DES EXPÉRIENCES.	FORCE DU VENT.	DIRECTION vers laquelle va le vent.	ANGLES des observateurs avec l'axe du réflecteur.	ANGLES des observateurs avec la direction du vent.	PORTÉES DES SONS. sans réflecteur pour 15 coups.	PORTÉES DES SONS. sans réflecteur pour 25 coups.	PORTÉES DES SONS. avec réflecteur pour 15 coups.	PORTÉES DES SONS. avec réflecteur pour 25 coups.	VALEURS PROPORTIONNELLES des portées moyennes sans réflecteur.	RAPPORT MOYEN DES PORTÉES avec réflecteur, aux portées sans réflecteur.	PORTÉES sans réflecteur divisées par le coefficient relatif à la direction du vent pour 15 coups.	PORTÉES sans réflecteur divisées par le coefficient relatif à la direction du vent pour 25 coups.
			degrés.	degrés.	kilom.	kilom.	kilom.	kilom.			kilom.	kilom.
1.	Bonne brise.	N.-E.	90,0	180,0	0,69	0,72	0,36	0,37	0,56	0,52	1,04	1,08
		Idem.	67,5	157,5	0,76	0,78	0,51	0,53	0,61	0,67	1,11	[illegible]
		Idem.	45,0	135,0	0,89	0,91	0,85	0,87	0,71	0,96	1,20	[illegible]
		Idem.	22,5	112,5	1,09	1,15	1,25	1,30	0,88	1,14	1,30	[illegible]
		Idem.	0,0	90,0	1,13	1,41	1,60	1,78	1,00	1,33	1,13	[illegible]
		Idem.	22,5	67,5	1,29	1,55	1,89	2,07	1,12	1,39	1,04	[illegible]
		Idem.	45,0	45,0	1,64	1,81	2,13	2,50	1,36	1,34	1,06	[illegible]
											1,13	[illegible]
2.	Bonne brise.	Est.	112,5	112,5	0,59	0,89	0,65	0,79	0,40	0,97	0,70	[illegible]
		Idem.	90,0	135,0	0,66	0,82	0,75	0,81	0,40	1,04	0,89	1,11
		Idem.	67,5	157,5	0,71	0,80	0,85	0,98	0,41	1,21	1,04	[illegible]
		Idem.	45,0	180,0	0,70	0,85	1,05	1,18	0,42	1,45	1,00	[illegible]
		Idem.	22,5	157,5	0,78	1,06	1,36	1,52	0,50	1,57	1,14	1,55
		Idem.	0,0	135,0	1,37	1,60	1,80	2,00	0,81	1,28	1,85	2,16
		Idem.	22,5	112,5	1,60	1,97	2,19	2,40	0,98	1,28	1,90	[illegible]
		Idem.	45,0	90,0	1,72	1,95	2,54	2,59	1,00	1,35	1,72	[illegible]
											1,29	[illegible]
3.	Petite brise.	S.-O.	90,0	0,0	»	1,25	»	1,49	0,84	1,19	»	[illegible]
		Idem.	67,5	22,5	»	1,68	»	1,91	1,13	1,14	»	[illegible]
		Idem.	45,0	45,0	»	1,62	»	2,15	1,09	1,35	»	[illegible]
		Idem.	22,5	67,5	»	1,31	»	2,35	0,88	1,79	»	[illegible]
		Idem.	0,0	90,0	»	1,32	»	2,61		1,98	»	
		S.-S.-O.	22,5	90,0	»	1,47	»	2,65	1,00	1,82	»	[illegible]
		Sud.	45,0	90,0	»	1,67	»	2,71		1,62	»	
												1,05

TABLEAU N° 2.

Expériences françaises.

Petite cloche avec ou sans réflecteur. — Marteaux de 2 kilogr. 5, de 5 kilogrammes et de 7 kilogr. 5, frappant 25 coups par minute.

N° des expériences.	FORCE du VENT.	DIRECTION vers laquelle va le vent.	ANGLES des observateurs avec l'axe du réflecteur.	ANGLES des observateurs avec la direction du vent	PORTÉE DES SONS — SANS RÉFLECTEUR. Marteau de 2 kil. 5	5 kil.	7 kil. 5	PORTÉE DES SONS — AVEC RÉFLECTEUR. Marteau de 2 kil. 5	5 kil.	7 kil. 5	VALEURS proportionnelles des portées moyennes sans réflecteur.	RAPPORT MOYEN des portées avec réflecteur aux portées sans réflecteur.	PORTÉES SANS RÉFLECTEUR divisées par le coefficient ρ relatif à la direction du vent pour le marteau de 2 kil. 5	5 kil.	7 kil. 5
			degrés	degrés	kilom.	kilom.	kilom.	kilom.	kilom.	kilom			kilom.	kilom.	kilom.
[illegible]	Bonne brise.	O.-S.-O.	90,0	22,5	1,50	1,96	»	1,54	2,61	»	1,50	1,20	0,81	1,05	»
		Idem.	67,5	0,0	2,13	3,08	»	3,75	4,10	»	2,26	1,51	1,07	1,54	»
		Idem.	45,0	22,5	2,13	2,53	»	2,90	3,37	»	2,02	1,35	1,15	1,36	»
		Idem.	22,5	45,0	1,90	2,17	»	2,39	2,72	»	1,76	1,26	1,23	1,40	»
		Idem.	0,0	67,1	1,66	1,85	»	2,01	2,25	»	1,52	1,21	1,34	1,49	»
		Idem.	22,5	90,0	1,10	1,21	»	1,26	1,33	»	1,00	1,12	1,10	1,21	»
		Idem.	45,0	112,5	0,83	0,98	»	1,06	1,14	»	0,78	1,21	0,99	1,17	»
		Idem.	67,5	135,0	0,81	0,95	»	1,12	1,29	»	0,76	1,37	1,09	1,28	»
													1,10	1,31	
5.	Moyen.	N.-N.-O.	112,5	135,0	1,24	1,55	»	1,34	1,31	»	0,61	0,95	1,68	2,09	»
		Idem.	90,0	112,5	1,47	1,93	»	1,62	1,85	»	0,74	1,02	1,75	2,30	»
		Idem.	67,5	90,0	2,00	2,58	»	2,46	2,91	»	1,00	1,17	2,00	2,58	»
		Idem.	45,0	67,5	2,22	2,68	»	2,86	3,29	»	1,07	1,26	1,79	2,16	»
		Idem.	22,5	45,0	1,63	2,25	»	3,03	3,38	»	0,85	1,65	1,05	1,45	»
		Idem.	0,0	22,5	1,40	2,07	»	3,02	3,59	»	0,76	1,90	0,75	1,11	»
		Idem.	22,5	0,0	1,48	2,67	»	3,06	3,87	»	0,91	1,67	0,74	1,34	»
		Idem.	45,0	22,5	1,61	2,97	»	2,81	3,38	»	1,00	1,35	0,87	1,60	»
		Idem.	67,5	45,0	1,69	3,07	»	2,78	3,12	»	1,04	1,24	1,09	1,98	»
													1,30	1,85	
6.	Bonne brise.	Nord.	112,5	157,5	1,02	1,45	1,75	1,04	1,12	1,60	0,68	0,89	1,49	2,12	2,56
		Idem.	90,0	135,0	1,34	1,73	2,08	1,41	1,52	2,12		0,98	1,18	2,34	2,81
		N.-N.-E.	67,5	135,0	1,83	2,27	2,53	1,96	2,11	2,73	1,01	1,03	2,47	3,07	3,42
		N.-E	45,0	135,0	1,99	2,45	2,65	2,87	3,15	3,43		1,33	2,69	3,31	3,58
		Idem.	22,5	112,5	1,69	2,30	2,60	3,02	3,26	3,70	1,06	1,51	2,01	2,74	3,10
		Idem.	0,0	90,0	1,55	2,11	2,58	3,00	3,30	4,00	1,00	1,65	1,55	2,11	2,58
		Idem.	22,5	67,5	2,12	2,77	3,16	3,65	3,96	4,31	1,29	1,48	1,71	2,23	2,55
		Idem.	45,0	45,0	2,94	3,32	3,73	4,12	4,26	4,40	1,60	1,28	1,90	2,14	2,41
													1,95	2,51	2,88
7.	Forte brise.	N.-N.-O.	0,0	135,0	»	1,26	»	»	2,11	»	0,68	1,67	»	1,70	»
		Idem.	0,0	112,5	»	1,40	»	»	2,46	»	0,76	1,76	»	1,67	»
		Idem.	0,0	90,0	»	1,85	»	»	3,19	»	1,00	1,72	»	1,85	»
		Idem.	0,0	67,5	»	2,86	»	»	4,81	»	1,55	1,68	»	2,31	»
		Idem.	0,0	45,0	»	4,12	»	»	6,95	»	2,23	1,69	»	2,66	»
		Idem.	0,0	22,5	»	4,24	»	»	7,15	»	2,29	1,69	»	2,28	»
		Idem.	0,0	0,0	»	3,70	»	»	6,58	»	2,00	1,78	»	1,85	»
		Idem.	0,0	22,5	»	2,69	»	»	4,73	»	1,45	1,76	»	1,45	»
		Idem.	0,0	45,0	»	2,12	»	»	3,13	»	1,15	1,48	»	1,37	»
												[illegible]		[illegible]	

TABLEAU N° 3.

Expériences françaises.

Grosse cloche de 227 kilogrammes, sans réflecteur, avec marteaux de 5 et de 9 kilogrammes.
Petite cloche avec réflecteur et marteau de 5 kilogrammes.
60 coups par minute.

NUMÉROS DES EXPÉRIENCES.	FORCE du VENT.	DIRECTION vers laquelle va le vent.	ANGLES des OBSERVATEURS avec l'axe du réflecteur.	ANGLES des OBSERVATEURS avec la direction du vent.	PORTÉE DES SONS. Grosse cloche sans réflecteur et marteau de 5 kilog.	PORTÉE DES SONS. Grosse cloche sans réflecteur et marteau de 9 kilog.	PORTÉE DES SONS. Petite cloche avec réflecteur et marteau de 5 kil.	VALEURS proportionnelles des portées moyennes sans réflecteur.	RAPPORT moyen des portées avec réflecteur aux portées sans réflecteur.	PORTÉES sans réflecteur, divisées par le coefficient relatif à la direction du vent pour le marteau de 5 kilog.	PORTÉES … 9 kilog.
			degrés.	degrés.	kilom.	kilom.	kilom.			kilom.	kilom.
8.	Bonne brise.	O.-S.-O.	90,0	22,5	2,64	»	2,95	1,98	»	1,42	»
		Idem.	67,5	0,0	2,55	»	3,96	1,92	»	1,28	»
		Idem.	45,0	22,5	2,43	»	3,74	1,83	»	1,31	»
		Idem.	22,5	45,0	2,14	»	3,00	1,61	»	1,38	»
		Idem.	0,0	67,5	1,64	»	2,83	1,23	»	1,32	»
		Idem.	22,5	90,0	1,33	»	2,11	1,00	»	1,32	»
										1,34	
9.	Petite brise.	E.-S.-E.	0,0	112,5	1,15	»	2,39	0,61	»	1,37	»
		Idem.	0,0	135,0	1,54	»	1,93	0,61	»	2,06	»
		Idem.	0,0	157,5	1,51	»	1,76	0,58	»	2,21	»
		E.-N.-E.	0,0	135,0	1,41	»	2,33	0,65	»	1,91	»
		Idem.	0,0	112,5	2,20	»	3,02	0,92	»	2,62	»
		Idem.	0,0	90,0	2,51	»	3,15	1,00	»	2,51	»
										2,12	
10.	Petite brise et calme.	Est.	0,0	180,0	1,71	»	2,23	»	»	2,57	»
		Idem.	0,0	157,5	1,73	»	2,33	»	»	2,53	»
		Idem.	0,0	135,0	2,13	»	4,31	»	»	2,88	»
		Idem.	0,0	112,5	3,06	»	3,80	»	»	3,64	»
										2,90	
11.	Petite brise.	N.-N.-E.	0,0	157,5	»	2,66	4,21	0,78	»	»	3,8[illegible]
		Idem.	0,0	135,0	»	2,64	4,18	0,78	»	»	3,5[illegible]
		Idem.	0,0	112,5	»	3,29	4,94	0,94	»	»	3,9[illegible]
		Idem.	0,0	90,0	»	3,89	4,73	1,00	»	»	3,9[illegible]
		Idem.	0,0	67,5	»	3,56	4,33	0,92	»	»	2,9[illegible]
		Idem.	0,0	45,0	»	4,30	4,86	1,07	»	»	2,7[illegible]
											3,4[illegible]
12.	Petite brise.	N.-N.-E.	0,0	112,5	»	3,15	4,00	0,93	»	»	3,7[illegible]
		Idem.	0,0	90,0	»	3,47	4,17	1,00	»	»	3,4[illegible]
		Idem.	0,0	67,5	»	4,53	5,11	1,27	»	»	3,6[illegible]
		Idem.	0,0	45,0	»	5,86	7,08	1,69	»	»	3,7[illegible]
		Idem.	0,0	22,5	»	6,14	7,62	1,80	»	»	3,[illegible]
											3,5[illegible]
13.	Petite brise.	S.-S.-O.	0,0	22,5	2,55	3,17	3,88	»	»	1,37	1,7[illegible]
		S.-O.	0,0	22,5	2,26	2,92	3,61	»	»	1,22	1,5[illegible]
		Idem.	0,0	45,0	1,83	2,55	3,16	»	»	1,18	1,6[illegible]
		Idem.	0,0	67,5	1,58	2,08	2,60	»	»	1,27	1,6[illegible]
		O.-S.-O.	0,0	67,5	2,42	4,25	4,55	»	»	1,95	3,4[illegible]
		Ouest.	0,0	67,5	2,32	2,83	3,55	»	»	1,87	2,3[illegible]
										1,48	2,0[illegible]

TABLEAU N° 4.

Influence de la direction du vent (fig. 1).

Valeurs proportionnelles des portées pour les différentes directions du vent, d'après les tableaux n°s 1, 2 et 3.

NUMÉROS DES EXPÉRIENCES.	FORCE DU VENT.	VALEURS PROPORTIONNELLES DES PORTÉES POUR DIFFÉRENTS ANGLES DE L'OBSERVATEUR AVEC LA DIRECTION DU VENT.								
		0°,0.	22°,5.	45°,0.	67°,5.	90°,0.	112°,5.	135°,0.	157°,5.	180°,0.
1.	Bonne brise.	»	»	1,36	1,12	1,00	0,88	0,71	0,61	0,56
2.	Bonne brise.	»	»	»	»	1,00	0,69	0,60	0,45	0,42
4.	Bonne brise.	2,26	1,76	1,76	1,52	1,00	0,78	0,76	»	»
5.	Bonne brise.	»	»	1,60	1,29	1,00	1,06	1,01	0,68	»
7.	Forte brise.	2,00	1,87	1,69	1,55	1,00	0,76	0,68	»	»
8.	Bonne brise.	1,92	1,90	1,61	1,23	1,00	»	»	»	»
[illegible]	Petite brise.	»	»	»	»	1,00	0,80	0,63	0,58	»
[illegible]	Petite brise.	»	»	1,07	0,92	1,00	0,94	0,78	0,78	»
12.	Petite brise.	»	1,80	1,69	1,27	1,00	0,93	»	»	»
	MOYENNES.	2,06	1,83	1,54	1,27	1,00	0,85	0,74	0,62	0,49

TABLEAU N° 5.

Influence de la force du vent.

Valeurs proportionnelles des portées pour les différentes forces du vent, d'après le tableau n° 4.

FORCE DU VENT.	VENTS FAVORABLES.				VENTS CONTRAIRES.			
	22°,5.	45°,0.	67°,5.	MOYENNE.	112°,5.	135°,0.	157°,5.	MOYENNE.
Petite brise.	1,80	1,07	1,27		0,80	0,63	0,58	
	»	1,69	0,92		0,94	0,78	0,78	
	»	»	»		0,93	»	»	
	— 1,80	— 1,38	— 1,10	1,43	— 0,89	— 0,71	— 0,68	0,76
Bonne brise.	1,76	1,36	1,12		0,88	0,71	0,61	
	1,90	1,74	1,52		0,69	0,60	0,45	
	»	1,60	1,29		0,78	0,76	0,68	
	»	1,61	1,23		1,06	1,01	»	
	— 1,83	— 1,58	— 1,29	1,57	— 0,85	— 0,77	— 0,58	0,73
Forte brise.	1,87	1,69	1,55	1,70	0,76	0,68	»	0,72

TABLEAU N° 6.

Influence d'un réflecteur (fig. 2).

Rapport des portées avec réflecteur aux portées sans réflecteur, pour différents angles, d'après les tableaux nos 1 et 2.

NUMÉROS des EXPÉRIENCES.	ANGLES DE L'OBSERVATEUR AVEC L'AXE DU RÉFLECTEUR.								
	0°,0.	22°,5.	45°,0.	67°,5.	90°,0.	112°,5.	135°,0.	157°,5.	180°,0.
1.	1,33	1,14 / 1,39	0,96 / 1,34	0,67	0,52	»	»	»	»
2.	1,28	1,57 / 1,28	1,43 / 1,35	1,21	1,04	0,97	»	»	»
3.	1,98	1,79 / 1,82	1,33 / 1,62	1,14	1,19	»	»	»	»
4.	1,21	1,26	1,35	1,51	1,20	»	»	»	»
5.	1,90	1,65 / 1,67	1,26 / 1,35	1,17 / 1,24	1,02	0,95	»	»	»
6.	1,65	1,51	1,33	1,03	0,98	0,89	»	»	»
7.	1,69	»	»	»	»	»	»	»	»
MOYENNES.	1,58	1,47	1,32	1,17	0,99	0,94	»	»	»

TABLEAU N° 7.

Portées moyennes des différentes sonneries sans réflecteur, calculées dans les tableaux nos 1, 2 et 3, au moyen des coefficients de la direction du vent.

NUMÉROS des EXPÉRIENCES.	PETITE CLOCHE.				GROSSE CLOCHE.	
	2 KILOG. 5 15 coups.	2 KILOG. 5 25 coups.	5 KILOG. 25 coups.	7 KILOG. 5 25 coups.	5 KILOG. 60 coups.	9 KILOG. 60 coups.
	kilom.	kilom.	kilom.	kilom.	kilom.	kilom.
1.	1,13	1,24	»	»	»	»
2.	1,29	1,57	»	»	»	»
3.	»	1,03	»	»	»	»
4.	»	1,10	1,31	»	»	»
5.	»	1,30	1,85	»	»	»
6.	»	1,95	2,51	2,88	»	»
7.	»	»	1,90	»	»	»
8.	»	»	»	»	1,34	»
9.	»	»	»	»	2,12	»
10.	»	»	»	»	2,90	»
11.	»	»	»	»	»	3,49
12.	»	»	»	»	»	3,59
13.	»	»	»	»	1,48	2,05
MOYENNES.	1,21	1,37	1,89	2,88	1,96	3,04

TABLEAU N° 8.

Expériences anglaises.

Portées, en milles marins, des trompettes à vibrateur ou à sirène et des sifflets, pour différents vents.

	TROMPETTE ORDINAIRE OU A VIBRATEUR. Portées pour un vent			TROMPETTE A SIRÈNE. Portées pour un vent		SIFFLET A VAPEUR. Portées pour un vent	
	favorable.	de travers.	contraire.	favorable.	contraire.	favorable.	contraire.
	5,5	3,5	1,0	9,0	3,0	3,9	1,0
	6,0	5,0	2,0	5,5	1,3	»	2,0
	9,0	4,0	3.8	7,5	3,5	»	»
	8,8	4,5	5,4	7,8	2,5	»	»
	6,5	3,9	1,0	5,0	3,8	»	»
	7,8	3,5	1,8	5,0	3,0	»	»
	3,0	4,0	»	15,0	2,8	»	»
	5.5	3,8	»	5,8	2,0	»	»
	5,0	»	»	7,3	»	»	»
	»	»	»	7,5	»	»	»
	»	»	»	6,0	»	»	»
	»	»	»	5,0	»	»	»
	»	»	»	7,5	»	»	»
	»	»	»	7,0	»	»	»
	»	»	»	11,5	»	»	»
	»	»	»	6,5	»	»	»
	»	»	»	8,0	»	»	»
MOYENNES.	6,3	4,0	2,5	7,5	2,7	3,9	1,5
PORTÉES MOYENNES.		4,3		5,1		2,7	

TABLEAU N° 9.

Expériences américaines.

Portées, en milles marins, d'un sifflet de bateau à vapeur, pour différentes directions du vent (fig. 3).

	ANGLES DE L'OBSERVATEUR AVEC LA DIRECTION DU VENT.				
	0°.	45°.	90°.	135°.	180°.
	3,7	3,0	2,0	»	0,7
	5,0	»	2,0	1,7	1,3
	4,0	»	»	»	3,0
	4,5	4,3	3,2	»	0,7
	2,3	»	1,7	»	0,7
	2,5	»	»	»	1,0
MOYENNES.	3,7	3,6	2,2	1,7	1,2
PORTÉE MOYENNE.			2,5		

TABLEAU N° 10.

Expériences allemandes.

Portées, en kilomètres, de cornets mus à bras d'homme, pour différents vents.

	PORTÉES PAR VENT FAVORABLE avec une force				PORTÉES PAR VENT CONTRAIRE avec une force				PORTÉES SANS INDICATION de vent.
	1.	2.	3.	4.	1.	2.	3.	4.	
	5,47	5,47	4,30	4,30	3,70	1,85	1,80	2,00	4,06
	5,47	5,47	5,16	1,80	3,40	3,55	1,30	1,77	5,47
	»	5,47	3,00	»	4,25	2,50	1,30	1,35	4,06
	»	»	5,17	»	3,55	1,85	1,80	1,76	5,47
	»	»	3,10	»	3,52	1,85	1,35	2,00	1,70
	»	»	3,50	»	4,30	»	1,65	1,60	3,10
	»	»	3,07	»	3,52	»	»	»	1,70
	»	»	4,30	»	»	»	»	»	1,20
	»	»	»	»	»	»	»	»	5,47
	»	»	»	»	»	»	»	»	1,60
MOYENNES.	5,47	5,47	3,95	3,05	3,75	2,32	1,63	1,75	3,38
PORTÉES MOYENNES PARTIELLES.	4,34				2,40				
PORTÉE MOYENNE GÉNÉRALE.	3,37								

TABLEAU N° 11.

Récapitulation des résultats concernant la quantité de travail, la hauteur du son et la portée de différents instruments sonores (*fig*. 5).

INSTRUMENTS SONORES.	TRAVAIL en KILOGRAMMÈTRES par seconde T.	NOMBRE de VIBRATIONS par seconde n.	PORTÉE en KILOMÈTRES x.
Petite cloche avec marteau de 5 kilogr. frappant 25 coups..	0,33	800	1,89
Grosse cloche avec marteau de 9 kilogr. frappant 60 coups..	1,44	600	3,04
Cornet à air comprimé, mû à bras d'homme.	2,50	650	3,37
Sifflet à vapeur..	37,50	1 500	4,90
Trompette.. à vibrateur..	300,00	450	7,96
Trompette.. à sirène..	1 200,00	400	9,44

TABLEAU N° 12.

Portées, en kilomètres, du son de la petite cloche de Boulogne, sous l'action du vent, pour différentes valeurs du coefficient de transparence acoustique.

COEFFICIENT DE TRANSPARENCE acoustique b.	PORTÉES POUR DIFFÉRENTES DIRECTIONS OU POUR LES VALEURS CORRESPONDANTES DE $\frac{T}{2,216}$.									RAPPORT DES PORTÉES pour les angles 0 et 180.
	0°,0. $\frac{T}{2,216} =$ 2,414.	22°,5. $\frac{T}{2,216} =$ 1,724.	45°,0. $\frac{T}{2,216} =$ 0,767.	67°,5. $\frac{T}{2,216} =$ 0,316.	90°,0. $\frac{T}{2,216} =$ 0,149.	112°,5. $\frac{T}{2,216} =$ 0,081.	135°,0. $\frac{T}{2,216} =$ 0,054.	157°,5. $\frac{T}{2,216} =$ 0,045.	180°,0. $\frac{T}{2,216} =$ 0,041.	
0,938	10,9	9,6	7,0	4,8	3,5	2,6	2,2	2,0	1,9	5,7
0,889	9,2	8,1	6,2	4,4	3,2	2,4	2,1	1,9	1,8	5,1
0,836	7,7	7,0	5,4	4,0	3,0	2,3	2,0	1,8	1,7	4,5
0,733	6,1	5,5	4,5	3,4	2,6	2,1	1,8	1,6	1,6	3,8
0,473	3,8	3,5	2,9	2,3	1,9	1,6	1,4	1,3	1,3	2,9
0,230	2,5	2,3	2,0	1,7	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0	2,5
0,088	1,8	1,7	1,5	1,3	1,1	0,9	0,9	0,8	0,8	2,2
0,032	1,4	1,3	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7	0,7	2,0

TABLEAU N° 13.

Portées, en kilomètres, du son d'une trompette à sirène, sous l'action du vent, pour différentes valeurs du coefficient de transparence acoustique.

COEFFICIENT DE TRANSPARENCE acoustique b.	PORTÉES POUR DIFFÉRENTES DIRECTIONS OU POUR LES VALEURS CORRESPONDANTES DE $\frac{T}{1,108}$.									RAPPORT DES PORTÉES pour les angles 0 et 180.
	0°,0. $\frac{T}{1,108} =$ 17,557.	22°,5. $\frac{T}{1,108} =$ 11,716.	45°,0. $\frac{T}{1,108} =$ 5,579.	67°,5. $\frac{T}{1,108} =$ 2,297.	90°,0. $\frac{T}{1,108} =$ 1,083.	112°,5. $\frac{T}{1,108} =$ 590.	135°,0. $\frac{T}{1,108} =$ 393.	157°,5. $\frac{T}{1,108} =$ 328.	180°,0. $\frac{T}{1,108} =$ 295.	
0,938	86,0	81,0	72,0	63,0	55,0	49,0	46,0	44,0	43,0	2,00
0,889	54,0	51,0	46,0	41,0	37,0	34,0	32,0	31,0	30,0	1,74
0,836	39,0	37,0	34,0	31,0	28,0	25,0	24,0	23,0	23,0	1,69
0,733	25,0	24,0	22,0	20,0	19,0	17,0	16,0	16,0	15,0	1,67
0,473	12,4	11,9	11,2	10,3	9,4	8,9	8,4	8,2	8,1	1,53
0,230	7,1	6,8	6,5	5,9	5,5	5,2	5,0	4,9	4,8	1,48
0,088	4,6	4,5	4,3	4,0	3,7	3,5	3,4	3,3	3,3	1,39
0,032	3.4	3,3	3,2	3,0	2,8	2,6	2,5	2,5	2,5	1,36

TABLEAU N° 14.

Portées des différents sons d'une gamme produits par une sirène, pour différents états de transparence acoustique.

COEFFICIENT DE TRANSPARENCE acoustique b.	PORTÉES POUR $n =$								RAPPORT des EXTRÊMES.
	300,0.	337,5.	375,0.	400,0.	450,0.	500,0.	562,5.	600,0.	
0,9	58.50	57,40	56,30	55,60	54,40	53,30	52,20	51,50	0,88
0,8	38,80	38,10	37,50	37,10	36,40	35,80	35,10	34,80	0,90
0,8	28,80	28,40	28,00	27,70	27,20	26,70	26.30	26,10	0,91
0,7	19,30	19,00	18,70	18,50	18,20	18,00	17,70	17,60	0,91
0,4	9,80	9,70	9,60	9,50	9,40	9,20	9,10	9,00	0,92
0,2	5,70	5,60	5,60	5,50	5,50	5,40	5,30	5,30	0,93
0,0	3,79	3,75	3,72	3,70	3,66	3,62	3,58	3,56	0,94
0,0	2,85	2,82	2,79	2,78	2,75	2,72	2,69	2,68	0,94

TABLEAU N° 15.

Caractères des signaux sonores adoptés aux États-Unis.

1° SIGNAUX A UN SON.

SIFFLETS.			TROMPETTES A VIBRATEUR.			TROMPETTES A SIRÈNE.		
NOMBRE.	DURÉE du son.	DURÉE de l'intervalle.	NOMBRE.	DURÉE du son.	DURÉE de l'intervalle.	NOMBRE.	DURÉE du son.	DURÉE de l'intervalle.
1	3	42	1	6	14	1	4	35
1	4	56	1	6	21	2	5	90
1	4	16	2	7	43	1	5	55
2	5	25	1	8	40	2	5	40
1	5	55	1	8	30	2	5	30
12	8	52	1	10	30	1	6	45
1	10	30	1	12	50	3	6	40
2	10	50	1	15	40	1	6	29
»	»	»	»	»	»	1	7	42
»	»	»	»	»	»	1	9	35
21	7,2	46,3	9	8,8	34,5	15	5,7	[illegible]

2° SIGNAUX A DEUX SONS.

SIFFLETS.					TROMPETTES A VIBRATEUR.					TROMPETTES A SIRÈNE.				
NOMBRE.	DURÉE du 1er son.	DURÉE de l'intervalle.	DURÉE du 2e son.	DURÉE de l'intervalle.	NOMBRE.	DURÉE du 1er son.	DURÉE de l'intervalle.	DURÉE du 2e son.	DURÉE de l'intervalle.	NOMBRE.	DURÉE du 1er son.	DURÉE de l'intervalle.	DURÉE du 2e son.	DURÉE de l'intervalle.
1	4	8,0	4	44,0	1	6	4	6	44	1	5	8	5	[illegible]
1	4	7,0	4	45,0	»	»	»	»	»	1	7	23	7	[illegible]
1	5	8,0	5	42,0	»	»	»	»	»	»	»	»	»	[illegible]
1	8	4,0	4	44,0	»	»	»	»	»	»	»	»	»	[illegible]
1	8	12,0	6	39,0	»	»	»	»	»	»	»	»	»	[illegible]
2	8	10,0	2	40,0	»	»	»	»	»	»	»	»	»	[illegible]
1	10	20,0	5	25,0	»	»	»	»	»	»	»	»	»	[illegible]
1	5	22,5	10	22,5	»	»	»	»	»	»	»	»	»	[illegible]
2	5	26,0	3	26,0	»	»	»	»	»	»	»	»	»	[illegible]
2	8	24,0	8	24,0	»	»	»	»	»	»	»	»	»	[illegible]
13	6,6	15,5	4,3	34,0	1	6	4	6	44	2	6	15,5	6	[illegible]

Rapport moyen de la durée des sons au temps total.

- Pour les trois instruments à 1 son. . . . . 316 : 2 272 = 0,14
- Pour les trois instruments à 2 sons. . . . . 178 : 995 = 0,18
- Pour les sifflets à 1 et à 2 sons. . . . . 294 : 1 910 = 0,15
- Pour les trompettes à vibrateur à 1 et à 2 sons. . . . 91 : 450 = 0,20
- Pour les trompettes à sirène à 1 et à 2 sons. . . . . 109 : 907 = 0,12

TABLEAU N° 16.

Caractères à assigner aux trompettes à sirène du littoral français.

LÉGENDE.

Pour les caractères des phares, le chiffre suivi d'un B indique le nombre d'éclats blancs; R dési-
… un éclat rouge; (2) indique deux phares jumeaux.

Pour les caractères des trompettes, le nombre de lettres *s* indique le nombre de sons consécutifs
…x; *b h* désigne deux sons inégaux, en commençant par le son bas pour finir par le son haut;
h b désigne deux sons inégaux dans un ordre inverse.

Nota. Le nombre des trompettes à établir immédiatement ne sera que de vingt environ.

PHARES ÉLECTRIQUES.	CARACTÈRE DU PHARE électrique.	CARACTÈRE de la TROMPETTE. 1er système.	CARACTÈRE de la TROMPETTE. 2e système.	PHARES ÉLECTRIQUES.	CARACTÈRE DU PHARE électrique.	CARACTÈRE de la TROMPETTE. 1er système.	CARACTÈRE de la TROMPETTE. 2e système.
…kerque	2 B	*s s*	*s s*	Pilier	3 B	*s s s*	*b h*
…lais	4 B	*s s s s*	*h b*	Ile d'Yeu	1 B	*s*	*s*
…is-Nez	3 B R	*s s s*	*b h*	Baleines	4 B	*s s s s*	*h b*
La Canche	1 B (2)	*s*	*s*	Chassiron	3 B R	*s s s*	*b h*
…yeux	2 B	*s s*	*s s*	Cordouan	2 B	*s s*	*s s*
…Ailly	4 B	*s s s s*	*h b*	Hourtin	1 B (2)	*s*	*s*
…amp	1 B	*s*	*s*	Arcachon	3 B	*s s s*	*b h*
La Hève	3 B (2)	*s s s*	*b h*	Contis	1 B	*s*	*s*
Ver	2 B	*s s*	*s s*	Biarritz	2 B R	*s s*	*s s*
…fleur	4 B	*s s s s*	*h b*				
La Hague	1 B	*s*	*s*	Cap Béarn	2 B R	*s s*	*s s*
…rteret	3 B	*s s s*	*b h*	Mont d'Agde	4 B	*s s s s*	*h b*
…usey	2 B R	*s s*	*s s*	Faraman	2 B	*s s*	*s s*
…hel	4 B	*s s s s*	*h b*	Planier	3 B R	*s s s*	*b h*
…mpol	1 B R	*s*	*s*	Porquerolles	1 B	*s*	*s*
…pt-Iles	3 B R	*s s s*	*b h*	La Garouppe	3 B	*s s s*	*b h*
… de Bas	2 B	*s s*	*s s*				
… Vierge	4 B	*s s s s*	*h b*	Giraglia	4 B	*s s s s*	*h b*
…ac'h d'Ouessant	2 B R	*s s*	*s s*	Calvi	2 B	*s s*	*s s*
… de Sein	3 B	*s s s*	*b h*	Ile Sanguinaire	4 B R	*s s s s*	*h b*
…marc'h	1 B	*s*	*s*	Pertusato	1 B	*s*	*s*
…roix	4 B	*s s s s*	*h b*	Alistro	2 B R	*s s*	*s s*
…lle-Ile	1 B R	*s*	*s*				

RÉCAPITULATION	*s*	11
	ss	12
	sss ou *bh*	10
	ssss ou *hb*	10

TABLE.

N° 29

NOTE

SUR LES

OUVRAGES MOBILES DES BARRAGES DE LA HAUTE SEINE.

Par M. LAVOLLÉE, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Une loi du 13 juin 1878 a déclaré d'utilité publique les travaux destinés à augmenter le tirant d'eau sur la haute Seine, en portant le mouillage de $1^m,60$ à 2 mètres dans les douze biefs situés entre Montereau et Paris. Ce résultat a été obtenu par approfondissement dans les deux biefs supérieurs, et par exhaussement de la retenue sur tout le reste du parcours.

Dans la première section, le dragage du chenal et l'abaissement du busc de l'écluse intermédiaire n'ont présenté rien de particulier qui soit digne d'être signalé. Mais la surélévation du plan d'eau a entraîné le remplacement des appareils mobiles qui surmontent les barrages; elle a apporté quelques modifications aux engins primitivement installés par M. Chanoine, décrits dans plusieurs articles des *Annales*, et bien connus des Ingénieurs qui ont eu à s'occuper des questions de navigation.

Les constructeurs des ouvrages actuels n'ont rien innové. Ils ont seulement cherché à profiter de l'expérience acquise par leurs prédécesseurs dans la pratique des barrages, et c'est uniquement à titre d'appareils perfectionnés que les nouveaux types peuvent être intéressants à exposer pour

les lecteurs des *Annales* qui connaissent les dispositions primitivement adoptées.

Les barrages de la haute Seine se composaient et sont encore formés de deux parties bien distinctes (Pl. 16, *fig.* 1) : la première, accolée à l'écluse et appelée *passe navigable*, sert de chenal aux bateaux quand le débit de la Seine permet de laisser la rivière libre ; l'autre, nommée *déversoir*, est destinée au règlement du bief et à l'écoulement des crues, lorsque la passe navigable est fermée ou qu'on est en train de la relever. Le développement de ces portions séparées varie entre $65^{m},10$ et $40^{m},40$ pour les premières, et entre $70^{m},10$ et $37^{m},90$ pour les secondes. Le seuil des passes est placé 1 mètre plus bas que le seuil des déversoirs.

Les travaux, exécutés sous la direction de M. l'Ingénieur en chef Rougeul, ont été achevés en 1881 pour les passes navigables. Les déversoirs ont été terminés la même année, depuis Paris jusqu'à Corbeil, et le nouveau mouillage a été effectivement établi entre ces deux points à partir du mois d'octobre 1881. Les épreuves des divers appareils installés paraissent aujourd'hui suffisantes pour qu'on puisse apprécier les résultats acquis. Le fonctionnement des ouvrages modifiés paraît d'ailleurs avoir eu une influence assez sérieuse sur le mouvement de la navigation, puisque le tonnage absolu des bateaux circulant dans la section transformée, lequel était de 1 552 716 tonnes en 1880, s'est élevé à 2 149 524 tonnes de novembre 1881 à novembre 1882.

PASSES NAVIGABLES.

Les passes navigables (Pl. 16) sont munies de hausses Chanoine. Le radier n'a subi aucun changement ; on l'a simplement surmonté par des hausses plus élevées de $0^{m},40$ que les anciennes et différant de celles-ci par un certain

nombre de détails que nous indiquerons d'une manière aussi succincte que possible.

Les hausses primitives avaient une hauteur de $2^{m},92$ au-dessus du radier, placé à 3 mètres en contre-bas du niveau normal de la retenue. La crête de la passe laissait donc écouler une lame d'eau déversante de $0^{m},08$, lorsque le bief d'amont était plein. On n'a pas conservé cette revanche, qui rendait le règlement des biefs difficile en temps de sécheresse ou qui exigeait l'emploi de planchettes mobiles peu commodes à mettre en place; et les hausses actuelles ont une hauteur de $3^{m},40$, égale à la tranche d'eau qu'elles supportent (*fig.* 1).

La charpente des premières hausses était formée de quatre montants verticaux, ayant chacun $\frac{0^{m}.13}{0^{m},14}$ d'équarrissage, réunis en haut et en bas par deux chevêtres. Elle était complétée par quatre bordages de $0^{m},035$ d'épaisseur, simplement juxtaposés. Ces pièces n'offraient pas une résistance suffisante aux chocs qui se produisaient dans l'abatage; les montants se brisaient; les bordés étaient promptement disjoints, et l'on était obligé d'effectuer des remplacements continuels.

On a substitué à ce mode de construction un cadre de deux forts montants $\left(\frac{0^{m},20}{0^{m},27}\right)$ et de deux chevêtres solides, rempli par des bordés verticaux qui sont assemblés à rainure et à languette et qui sont appuyés sur des feuillures pratiquées dans les pièces principales du panneau (*fig.* 3). Cette disposition, appliquée par M. l'ingénieur en chef Boulé au pertuis de Port-à-l'Anglais, y a parfaitement réussi depuis douze ans, et les hausses établies dans ces conditions ont conservé une résistance et une étanchéité que les anciennes auraient perdu rapidement.

Les hausses avaient autrefois une largeur de $1^{m},20$ et étaient distantes de $1^{m},30$ d'axe en axe, de sorte qu'un jeu

de $0^m,10$ existait entre les montants voisins de deux hausses contiguës. Ce vide déterminait des pertes d'eau assez notables, et nous l'avons réduit à $0^m,05$, en portant à $1^m,25$ la largeur des hausses neuves.

Celles-ci tournent autour d'un axe de rotation (*fig.* 4) qui, situé primitivement aux $\frac{5}{12}$, est établi aujourd'hui presque à la moitié de la hauteur, afin d'éviter les basculements spontanés. L'axe divise le panneau en deux parties : l'une inférieure, la *culasse*, qui a $1^m,67$ de haut ; l'autre supérieure, la *volée*, qui a $1^m,73$. La rotation s'effectue sur la tête d'un chevalet placé verticalement et dont la forme spéciale (*fig.* 6) est justifiée par la nature des pressions agissant aux différents points de cette pièce. Le chevalet (*fig.* 6) pivote autour d'un axe horizontal inférieur, retenu dans ses crapaudines par un coin (*fig.* 5), suivant la disposition appliquée aux premiers mécanismes de M. Chanoine.

Le chevalet est appuyé sur l'arc-boutant ancien (*fig.* 2), dont la tête, recourbée en forme de crosse, a été redressée pour prévenir les efforts obliques, et a été façonnée comme une tête de bielle, suivant le système employé par MM. Hirsch et Boulé au barrage de l'île Barbe et au pertuis de Port-à-l'Anglais. La partie inférieure de l'arc-boutant a, en outre, subi un renflement du côté intérieur, afin de permettre aux taquets de la barre à talons de mordre davantage sur le pied et d'assurer l'abatage dans des conditions aussi satisfaisantes que possible.

Les trois axes de rotation de la hausse, du chevalet et de l'arc-boutant ne sont pas dans le même plan. Un pareil tracé aurait conduit en effet à accroître la saillie de la hausse couchée sur le radier ou la distance entre les têtes du chevalet et de l'arc-boutant. Dans le premier cas, on eût aggravé l'écueil que la hausse tombée forme pour la navigation, quand les bateaux ne trouvent plus au-dessus de la passe que la hauteur d'eau strictement suffisante.

Dans la seconde hypothèse, le calcul montre qu'on eût augmenté la valeur des forces qui tendent à tirer le chevalet et à comprimer l'arc-boutant.

Ces efforts, dont nous donnons plus loin l'évaluation, sont minima lorsque l'axe des colliers est dans le même plan horizontal que la tête de l'arc-boutant; mais ils ne varient pas de plus d'un dixième quand l'une des deux articulations est placée à $0^m,285$ au-dessous de l'autre, comme dans les hausses nouvelles. Si les deux axes coïncident, le support commun se prête difficilement aux remplacements partiels, et un accident survenant aux colliers ou à la traverse supérieure du chevalet entraîne la dislocation de tout le système d'appuis, c'est-à-dire la chute de la hausse. Avec deux axes séparés, au contraire, on peut, sans danger, remplacer l'arc-boutant en retenant la hausse par le chevêtre de volée; et une rupture des colliers ou des tourillons supérieurs du chevalet n'empêche pas la hausse de rester appuyée. Il a donc paru utile de ne pas placer la tête de l'arc-boutant en haut du chevalet; et en l'établissant plus bas, on a diminué la longueur de cette pièce sans augmenter sensiblement la traction sur le chevalet et, par suite, la force d'arrachement sur le seuil.

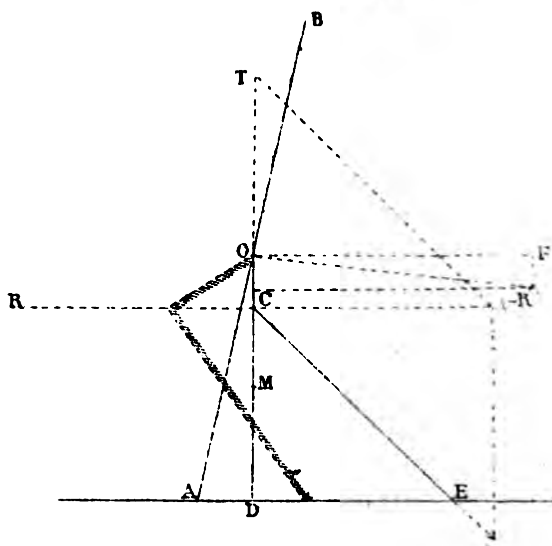
Enfin la hausse a été munie, à la partie supérieure, d'une vanne à axe horizontal ou vanne papillon (*fig.* 1), qui offre, ainsi que nous l'expliquerons dans un paragraphe spécial, de nombreux avantages pour le règlement des biefs et la manœuvre des hausses.

On voit, d'après la description sommaire qui précède, que les organes essentiels des appareils transformés ne diffèrent pas sensiblement des mécanismes employés par M. Chanoine. Toutefois les conditions de résistance et de stabilité des hausses sont profondément modifiées par le déplacement de l'axe de rotation ainsi que par la manœuvre des papillons, et il nous paraît utile de les examiner dans un chapitre spécial.

RÉSISTANCE ET STABILITÉ DES MÉCANISMES.

Résistance. — Le calcul des pièces de charpente et des parties métalliques peut être fait aisément à l'aide des méthodes indiquées par MM. Chanoine, de Lagrené et Boulé; il sera, dans tous les cas, facile, lorsqu'on aura déterminé la nature et la valeur des forces appliquées sur la hausse, sur le chevalet et sur l'arc-boutant. La disposition nouvelle qui reporte la tête de cette dernière pièce au-dessous des colliers change la répartition des efforts, et son influence sur la traction du chevalet est assez sensible pour que l'évaluation de la force d'arrachement soit l'objet d'une étude particulière. Nous réduirons donc l'examen des questions théoriques soulevées par l'application des nouvelles hausses à la décomposition des forces, dues à l'action de l'eau, suivant les pièces principales du système; et nous laisserons de côté la justification des dimensions assignées aux différents organes des appareils.

En ramenant les pièces à leurs axes de figures, et en supposant qu'il n'y ait pas d'eau en aval, on trouve que la pression sur le panneau AB de la hausse, à l'altitude de la retenue, est de 7 877 kilogrammes. Une composante de cette force est détruite par la résistance du seuil. Une autre, égale à 5 342 kilogrammes, est appliquée normalement à la hausse en son point d'appui O : elle se décompose en deux, l'une de 1 422 kilogrammes comprimant la partie supérieure du chevalet, et l'autre horizontale F = 5 419 kilogrammes.



Le chevalet OD peut être considéré comme une pièce encastrée au point D, soutenue à l'articulation C de l'arc-boutant CE, et soumise en dehors des points d'appui à une force normale F. La réaction R de l'appui C s'obtiendra en prenant par rapport à un point M, situé entre C et D, les moments des forces qui s'exercent au-dessus de ce point; et en posant :

$$\text{OD} = \text{A}, \quad \text{CD} = a \quad \text{et} \quad \text{MD} = x,$$

on aura :

$$\text{M}x = \text{EI}\frac{d^2y}{dx^2} = \text{F}(\text{A} - x) - \text{R}(a - x).$$

Puis, en intégrant deux fois, et en remarquant que $\frac{dy}{dx}$ et y sont nuls pour $x = o$, on calculera R :

$$\text{R} = \text{F}\frac{(3\,\text{A} - a)}{2a},$$

et l'on en tirera

$$\text{M}x = \frac{\text{F}(\text{A} - a)(3\,x - a)}{2\,a}.$$

D'un autre côté, entre C et O, les moments seront donnés par la formule

$$Mx = F(A - x).$$

Les moments de flexion qui se développent dans le chevalet peuvent donc être représentés par les ordonnées de deux droites qui coupent l'axe au point O et au tiers de la hauteur à partir de la base, et qui ont leur sommet commun sur l'horizontale du point C. Cette répartition des efforts justifie la forme adoptée pour le chevalet (*fig.* 6), dont le profil est celui d'un solide d'égale résistance. On conserve toutefois, aux points où les moments sont nuls, une épaisseur suffisante pour que la traverse supérieure et les montants puissent supporter les chocs des bateaux et autres corps flottants.

L'appui C est soumis à une force égale et contraire à la réaction R, dont l'intensité est de 6 583 kilogrammes. Cette force se décompose en deux autres, l'une de *compression*, suivant l'arc-boutant, l'autre de *traction* dans le sens du chevalet. C'est cette dernière qui, diminuée de l'effort de compression évalué plus haut a 1 422 kilogrammes, tend à arracher le seuil et qui est le plus à craindre pour la solidité des parties fixes. Si l'on désigne par b la distance DE entre les pieds du chevalet et de l'arc-boutant, la tension du chevalet sera

$$T = R\frac{a}{b} = F\frac{(3A - a)}{2b},$$

et l'on voit qu'elle diminue quand a augmente, c'est-à-dire quand la tête du chevalet se rapproche de l'axe autour duquel la hausse tourne.

Au barrage de Port-à-l'Anglais, où, pendant l'été de 1882, la chute a atteint $3^m,40$, soit la hauteur même de la hausse, la tension du chevalet a été de 3 600 kilogrammes en nombre rond. Elle n'eût été que de 3 300 kilogrammes si les deux articulations de la hausse et de l'arc-boutant

avaient été très voisines. La disposition exécutée n'a donc augmenté la force maxima d'arrachement sur le seuil que d'un dixième et le radier a parfaitement résisté.

Sur les autres barrages de la haute Seine dont la retenue a été exhaussée, la chute varie entre $2^m,06$ et $1^m,34$, et la tension du chevalet est réduite, dans ces deux cas extrêmes, à 3 400 kilogrammes et 2 900 kilogrammes environ.

On peut d'ailleurs remarquer que, si l'on regarde le chevalet, non pas comme encastré, mais comme simplement posé à sa base, la réaction R devient égale à $F \frac{A}{a}$, et la tension à $F \frac{A}{b}$. La force d'arrachement est donc rigoureusement la même en admettant cette hypothèse ou en plaçant la tête de l'arc-boutant au niveau des colliers.

La composante de la pression de l'eau dirigée suivant le chevalet a l'inconvénient de soulever le coin qui emprisonne l'essieu. Il arrivait quelquefois que, le chevalet sortant des crapaudines, la hausse était projetée sur le radier. Cet accident ne se produit plus depuis qu'on a relié le coin au seuil à l'aide d'une simple goupille (Pl. 16, *fig.* 5) imaginée par l'éclusier-chef de Port-à-l'Anglais et munie d'un œil qui permet de la retirer quand on veut enlever le coin pour déposer la hausse.

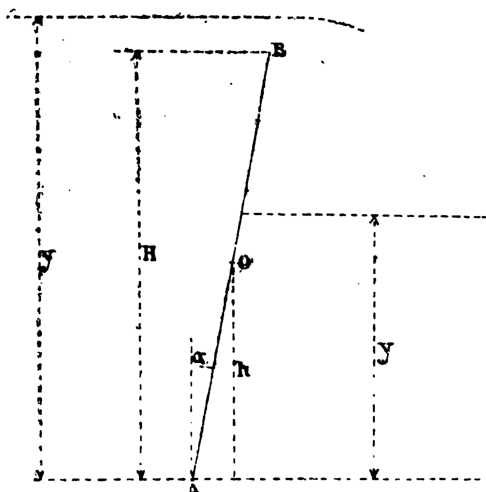
Stabilité. — La position de l'axe de rotation influe d'une manière capitale sur la stabilité des hausses et sur les mouvements spontanés qu'elles peuvent subir lorsque l'eau monte dans les biefs d'amont et d'aval.

Les anciennes hausses basculaient avec une lame déversante de $0^m,10$ à $0^m,20$ et une hauteur d'eau, en aval, égale à 2 mètres. Ces circonstances se rencontraient fréquemment, et le basculement des passes navigables était un phénomène constant pendant les années pluvieuses. En 1879, sur 215 journées où les barrages ont été debout, il y en a

eu 202 pendant lesquelles des hausses se sont inclinées d'elles-mêmes, et le nombre moyen de hausses en bascule a été de 18 par jour, soit une hausse et demie en moyenne par barrage. Ces mouvements étaient dangereux, non seulement par les dénivellations brusques qu'ils pouvaient entraîner de proche en proche dans les biefs successifs, mais encore par les courants intenses qu'ils déterminaient en aval et qui affectaient surtout la sortie des écluses. La navigation souffrait de cet état de choses, et il était indispensable d'y remédier en relevant l'axe de rotation, comme M. Boulé l'avait déjà fait au pertuis de Port-à-l'Anglais.

Les méthodes employées jusqu'à présent pour l'examen des conditions de stabilité dans lesquelles se trouvent les hausses Chanoine nous paraissent pouvoir être simplifiées par la construction d'une épure (*fig.* 9) donnant la solution immédiate des différents problèmes et permettant d'étudier les diverses combinaisons qui provoquent le basculement, lorsqu'une crue fait déverser l'eau d'amont sur la crête de la passe et monter l'eau d'aval à un niveau quelconque, inférieur à l'altitude de cette crête.

L'équilibre sera sur le point d'être détruit, à l'instant où les moments des pressions par rapport à l'axe de rotation O seront égaux de part et d'autre de cet axe.



Considérons d'abord ce qui se passe en aval, où la contre-pression de l'eau tend à faire basculer la hausse. Pour une hauteur d'eau y, la hausse, inclinée sur la verticale d'un angle α, exercera une contre-pression $P = 1{,}25 \times \frac{1\,000\,y^2}{2\cos\alpha}$ dont le point d'application se trouvera à une distance $\lambda = \frac{3h - y}{3\cos\alpha}$ du point O, h représentant la hauteur de l'axe au-dessus de l'horizontale qui passe par l'extrémité inférieure A du chevêtre de culasse. La valeur absolue du moment sera donc :

$$P = \lambda \frac{1\,250\,y^2(y - 3h)}{6\cos^2\alpha},$$

et en posant

$$\frac{6\,P\,\lambda\cos^2\alpha}{1\,250} = x$$

la courbe

$$x = y^2(y - 3h) \qquad (1)$$

aura des abscisses proportionnelles aux moments des con-

tre-pressions, pour des ordonnées figurant, entre $y = o$ et $y = H$, la hauteur de l'eau dans le bief inférieur. Cette courbe, qui présente un point d'inflexion pour $y = h$ et deux tangentes verticales pour $y = o$ et $y = 2h$, a été tracée par points sur l'épure (Pl. 16, *fig.* 9).

La tendance au basculement, produite par l'eau d'aval, sera contre-balancée par la pression directe de l'eau qui s'exerce en amont. Cette pression aura pour valeur $P' = 1{,}25 \times \frac{1\,000\,H(2y - H)}{2 \cos \alpha}$, en appelant H la hauteur de la hausse; son bras de levier sera $\lambda = \frac{h}{\cos \alpha} - \frac{H(3y - 2H)}{3 \cos \alpha (2y - H)}$, et le moment de cette pression sera donné par la formule $P\lambda = \frac{1\,250\,H}{6 \cos^2 \alpha} [3h(2y - H) - (3y - 2H)]$, de sorte que, avec les mêmes notations que ci-dessus, la droite

$$x = -3H(H - 2h)y + H^2(2H - 3h) \qquad (2).$$

aura ses abscisses proportionnelles aux moments des pressions, lorsque l'eau s'élèvera au-dessus de la retenue normale d'une quantité $y - H$. Cette droite est tangente à la courbe (1) pour $y = H$, et, considérée seulement pour des hauteurs d'eau supérieures à la crête des hausses, elle prolonge sur l'épure la courbe représentant les moments des compressions.

Il est aisé de reconnaître que les points d'intersection de la courbe et de la droite par une même ligne verticale indiqueront les hauteurs d'eau d'amont et d'aval qui, *obtenues simultanément*, donneront un moment de contre-pression égal au moment de la pression, c'est-à-dire mettront la hausse à l'état d'équilibre, au point où elle va basculer.

La même épure a été tracée en pointillé pour la hausse ancienne, et la comparaison des deux systèmes ressort du tableau suivant :

AMONT hauteur d'eau sur la crête des hausses.	AVAL cote de basculement		CHUTE.	
	Ancienne.	Nouvelle.	Ancienne.	Nouvelle.
0,00	2,15	3,27	0,85	0,13
0,10	2,04	3,23	1,06	0,27
0,20	1,93	3,19	1,23	0,41
0,30	1,84	3,17	1,46	0,53
0,40	1,75	3,14	1,65	0,66
0,50	1,65	3,12	1,85	0,78
0,60	1,58	3,10	2,02	0,90

Ces résultats des calculs concordent d'une manière très sensible avec les données de l'expérience, et les écarts que nous avons constatés ou qui se rapportent à des observations antérieures n'excèdent guère une dizaine de centimètres.

Il arrive assez fréquemment sur la haute Seine qu'une faible crue, un flot accidentel causé par un orage, par une fausse manœuvre ou par une éclusée des cours d'eau supérieurs, surprend les éclusiers, notamment la nuit, et fait monter les eaux de 0^m^,20 à 0^m^,30 au-dessus de la retenue normale. Avec les anciens barrages, il suffisait que l'eau d'aval s'élevât à 1^m^,84 et 1^m^,93 sur le radier, pour que les passes, ou du moins certaines hausses, se missent en bascule : nous avons vu plus haut que cette inclinaison spontanée était un phénomène fréquent. Si l'on ne pouvait pas profiter de la première baisse qui suivait le flot pour relever les hausses, un affameur était inévitable, et le mouillage normal n'était plus assuré. Aujourd'hui il faudrait, pour que le même accident se produisît, que le bief d'aval fût tellement plein que la chute se réduisît à 0^m^,40 ou 0^m^,50, ce qui en réalité, est tout à fait inadmissible.

Les crues moyennes, qui exigent l'ouverture complète des déversoirs, peuvent diminuer la chute jusqu'à 1 mètre.

Toutes les anciennes hausses basculaient inévitablement dans ces conditions, et on n'avait alors d'autre ressource que d'ouvrir le barrage en entier. Les nouveaux engins ne peuvent s'incliner qu'avec une lame déversante de $0^m,60$, et une pareille surélévation suppose une crue assez forte pour qu'on ne soit plus maître de la retenue et pour qu'on doive, dans tous les cas, abattre la passe navigable.

Les formules et l'épure font reconnaître que la hausse serait absolument fixe dans une eau animée d'une vitesse négligeable, si l'axe de rotation était placé exactement au milieu. Mais cette stabilité complète peut être obtenue d'une manière effective dans un courant, même avec un axe situé un peu plus bas, en diminuant la pression sur la volée de la hausse par une ouverture qui laisse écouler une certaine tranche d'eau. Cette solution a été appliquée par M. l'Ingénieur en chef Boulé aux anciennes hausses de plusieurs barrages, pour retarder l'instant du basculement. Elle a été généralisée sur les passes transformées, et toutes les hausses nouvelles présentent cette section d'écoulement supplémentaire qui est ouverte on fermée à l'aide d'une vanne à axe horizontal ou *vanne-papillon*.

VANNES-PAPILLONS.

L'ouverture, fermée par les papillons, se trouve immédiatement au-dessous du chevêtre de volée (Pl. 16, *fig.* 1); sa largeur est de $0^m,65$ et sa hauteur de $1^m,02$. La vanne laisse un jeu de $0^m,01$ sur son pourtour; elle n'a que $0^m,63$ de large sur 1 mètre de haut. Son panneau est composé de trois planches verticales, de $0^m,05$ d'épaisseur, réunies et consolidées du côté d'aval par une bande de fer dont les extrémités sont recourbées. Un boulon traverse chacun des retours d'équerre et le montant voisin de la hausse : il constitue l'axe de rotation de la vanne, placé au tiers de la hauteur.

L'inclinaison du papillon ouvert est limitée par une plaque de tôle boulonnée sur la culasse, ayant $0^m,70$ de largeur, et empiétant ainsi de $0^m,025$ sur la face intérieure des montants. Ce rebord vient rencontrer la charpente de la hausse au point voulu pour l'arrêt.

Un taquet en bois, fixé sur la volée de la vanne, maintient la hausse horizontalement contre l'arc-boutant, lorsque le barrage est couché.

Pour ouvrir les papillons, il suffit de donner un coup de croc dans la volée, et, pour les fermer, d'attirer à soi la partie antérieure de la vanne au moyen d'une gaffe.

L'influence de ces engins, mise en évidence par M. Boulé dans son article sur le barrage de Port-à-l'Anglais (*Annales* 1873, 2e semestre), se manifeste dans toutes les circonstances spéciales que présente la manœuvre des barrages, pour le règlement ordinaire des biefs et l'écoulement des petites crues, pour la stabilité des hausses quand les crues sont fortes et tendent à faire basculer les passes, et enfin pour le relèvement des barrages à la fin de ces grandes crues.

En temps normal, les papillons peuvent être employés concurremment avec le déversoir, afin de maintenir le plan d'eau à sa retenue réglementaire. Leur abatage et leur fermeture sont très faciles à opérer : il suffit d'approcher de la crête à l'aide d'un simple batelet, et les éclusiers considèrent le fonctionnement de ces engins comme tellement aisé qu'ils ont une tendance manifeste à régler leurs biefs par les papillons plutôt que par les ouvrages mobiles des déversoirs. Le seul danger qu'il y ait à craindre est que l'ouvrier monté sur le batelet ne soit entraîné par le courant quand l'eau surmonte la crête des hausses. Afin de prévenir toute chance d'accident, l'éclusier doit, lorsqu'un flot arrive, ouvrir son déversoir suffisamment pour faire baisser le bief d'amont un peu en contre-bas de la retenue, et combattre ensuite la tendance à la montée de l'eau par l'ouver-

ture des papillons. Cette manière de procéder n'a pas d'inconvénients, si la pente de la rivière est assez forte pour que le léger abaissement du plan d'eau ne fasse pas tomber le mouillage au-dessous de la cote normale. Aussi les vannes-papillons doivent-elles être, à notre avis, non pas utilisées en temps de sécheresse, sur des flots accidentels, mais réservées pour le passage des petites crues, auxquelles elles peuvent donner un écoulement rapide et sûr.

La position de l'axe de rotation permet, en théorie, l'ouverture spontanée des vannes lorsqu'il y a sur la crête des hausses une lame déversante de $0^m,20$ à $0^m,30$. Mais rien n'est capricieux comme un papillon : le moindre corps étranger, le plus petit brin d'herbe qui s'attache au boulon de rotation, suffit pour arrêter toute espèce de mouvement automobile, et le mieux est de manœuvrer ces engins sans se fier à l'action naturelle de l'eau.

Il importe que tous les papillons soient ouverts lorsque l'importance de la crue augmente et qu'on entrevoit l'obligation de coucher les barrages. Car si l'axe de rotation des hausses n'est pas exactement placé au milieu, c'est la diminution de pression sur la partie de la volée ouverte par la vanne qui assurera la stabilité complète du barrage. Cet effet des papillons a été reconnu sur toutes les passes qui sont surmontées par les hausses que nous avons décrites, et dont aucune n'a basculé depuis qu'elles sont en place. A un des barrages qui n'ont pas été surélevés, nous avons pu constater l'action des vannes sur l'équilibre des hausses, dans une expérience directe qui nous a été fournie par une fausse manœuvre. Ce barrage a des hausses de 3 mètres analogues aux anciennes, mais portant comme les nouvelles un axe de rotation relevé vers le milieu de la hauteur. Le 15 juillet 1882, un flot brusque surprit l'éclusier. Celui-ci n'eut le temps d'ouvrir ni le déversoir ni les papillons, qui avaient été coincés pour en empêcher l'inclinaison pendant la sécheresse de l'été dernier. L'eau déversa de $0^m,27$ sur la

crête des hausses, et monta en aval à $2^m,60$ sur le seuil. Une hausse bascula ; toutes les autres, en état d'équilibre instable, se balançaient dans le courant. En mouillant une ancre, on put aborder la passe avec un batelet et ouvrir les papillons. Immédiatement les hausses devinrent absolument immobiles sur leurs chevalets.

Donc, avec un axe établi vers le milieu de la hauteur et des vannes-papillons ouvertes, les hausses Chanoine resteront tout à fait fixes sous l'action d'une forte crue, jusqu'au moment où l'on sera forcé de les coucher sur le radier.

Dans cette manœuvre d'abatage, la vanne-papillon vient rencontrer l'arc-boutant, et si l'angle suivant lequel ces deux pièces se touchent est voisin d'un angle droit, la vanne reste debout en supportant la partie supérieure de la hausse. Le moindre inconvénient qui puisse alors se produire, c'est que l'axe cède et que le papillon soit arraché. Mais si le support résiste, la hausse fait une saillie de près de $0^m,80$ sur la maçonnerie du radier et constitue un obstacle très dangereux pour la batellerie. Il faut, pour que la vanne glisse sur l'arc-boutant, qu'elle tombe sous un angle aigu que l'expérience seule a pu indiquer, ou, en d'autres termes, que l'ouverture soit limitée par une plaque d'arrêt. L'inclinaison adoptée est telle que la vanne se place horizontalement lorsqu'elle est ouverte, barrage debout.

Les premiers papillons que nous avions adaptés aux hausses de $3^m,40$ ne comportaient pas de taquets destinés à les faire reposer sur les arcs-boutants, au fond de l'eau. Sous la chute permanente du barrage, qui n'est pourtant que de quelques centimètres, les vannes s'ouvraient jusqu'à ce que la volée vînt toucher l'arc-boutant, et la culasse se relevait de 0^m 10. Quand le mouillage sur la passe était voisin du tirant d'eau normal, les bateaux accrochaient a portion en saillie, le papillon était brisé, et le choc avait quelquefois une violence assez grande pour que la coque

des bateaux fût elle-même endommagée. Tout danger a disparu avec le taquet de soutien.

Après la crue, le moment vient où l'eau tombe sur les buscs aval des écluses à la cote du mouillage normal, et où il est absolument nécessaire de mettre debout les passes navigables pour rétablir la retenue artificielle. Cette opération présentait autrefois des difficultés sérieuses, et les obstacles s'accumulaient au fur et à mesure que le relèvement des hausses rétrécissait la section d'écoulement. Si la chute atteignait $0^{m},60$ ou $0^{m},80$ sur les dernières hausses à mettre debout, l'effort à vaincre pour tirer la volée au-dessus de l'eau exigeait la force de 4 ou 5 hommes. Dès que la pression était prépondérante sur la culasse, la hausse se redressait brusquement et venait heurter violemment le seuil. Ces difficultés et ces inconvénients disparaissent presque entièrement avec les vannes-papillons.

En ayant soin d'ouvrir ces engins sur les hausses qui sont déjà en place, on donne un écoulement supplémentaire qui rend la chute du barrage pendant le relèvement beaucoup moins forte que si le débit de la rivière s'effectuait par le déversoir seul. Cette inclinaison des papillons s'opère même naturellement, par l'effet de la chute, lorsqu'on attire la hausse à soi après l'avoir gaffée, et la pression de l'eau est diminuée suffisamment sur la volée pour que la hausse se mette debout toute seule, dès que l'arc-boutant est dans son heurtoir. La manœuvre se réduit donc aux mouvements suivants : l'éclusier saisit le chevêtre de culasse avec une corde, les aides enroulent cette corde sur le treuil du bateau de manœuvre, jusqu'à ce que le pied de l'arc-boutant soit en place ; puis, en imprimant au tambour une rotation inverse, ils retiennent la hausse, qui se relève spontanément et se met debout aussi doucement que la corde du treuil s'est déroulée lentement.

Il résulte toutefois d'expériences faites au barrage d'Ablon que cette automobilité au relèvement cesse lorsque la

chute atteint environ $1^{m},30$; mais qu'il suffit de l'effort exercé par deux hommes sur la volée pour déterminer le mouvement; et d'ailleurs ce n'est pas le panneau de la hausse qui constitue, dans de pareilles conditions, la principale difficulté, mais bien l'arc-boutant qui oscille dans le courant et qu'on ne peut mettre dans son heurtoir qu'à l'aide de vannages provisoires amortissant la vitesse de l'eau.

Quoi qu'il en soit, le surhaussement de l'axe de rotation et l'emploi des vannes-papillons ont rendu beaucoup plus simple et, par conséquent, beaucoup plus courte la manœuvre des passes navigables. Si l'on prend pour exemple le barrage de Port-à-l'Anglais, dont la passe à quarante-deux hausses, on trouve qu'avec les anciens ouvrages la durée moyenne de quinze manœuvres de relèvement, effectuées de 1872 à 1880, a été de quatre heures, tandis que les trois manœuvres opérées avec les nouvelles hausses les 16 novembre 1880, 30 mars et 20 avril 1881 n'ont exigé que $1^{h},10$, $1^{h},49$ et $1^{h},13$.

MODE D'EXÉCUTION ET DÉPENSES DES TRAVAUX.

Les douze passes navigables de la haute Seine ont été transformées : neuf ont reçu les hausses de $3^{m},40$, trois dont la retenue n'était pas surélevée ont été surmontées de hausses ayant 3 mètres seulement de hauteur et offrant des dispositions semblables à celles qui viennent d'être décrites.

Le nombre total des hausses fournies a été de 491, parmi lesquelles 460 ont été mises en place, les autres étant conservées en magasin comme appareils de rechange.

La dépose des anciens appareils et la pose des engins neufs ont été exécutées barrage debout, sans faire baisser la retenue, et sans construire de batardeaux, à l'aide d'un procédé qui était déjà appliqué dans le service pour le remplacement des ouvrages mobiles.

La méthode représentée sur la figure 7 de la planche 16 est la suivante :

1° On pose contre les deux hausses contiguës à celles qu'on veut enlever un vannage en bois (*fig.* 7 et 8) dont la crête dépasse le niveau de la retenue d'amont, dont la traverse inférieure s'applique contre le radier, et qui supporte la charge de l'eau pendant l'opération.

Ce vannage est constitué par des bordés en planches, s'appuyant sur des montants verticaux et des traverses horizontales. Il a en plan la forme d'un U : les branches s'appliquent contre les hausses voisines, et la table se trouve ainsi détachée complètement de l'appareil à ôter ou à placer. Comme le panneau du vannage présente une certaine surface au courant, et que, s'il était plein, il serait difficile à poser à l'endroit même qu'il doit occuper, on ménage, à la partie supérieure, une ouverture qu'on bouche avec de petites aiguilles, quand l'appareil est bien installé.

2° On saisit *de l'amont* le chevêtre de volée de la hausse ancienne, préalablement sortie de ses colliers, et on enlève cette hausse au moyen d'une chèvre et d'un treuil établis sur un bateau, jusqu'à ce que le chevêtre de culasse soit bien dégagé.

3° On amène la hausse sur le plancher d'un bateau placé *en aval,* en déroulant la corde du treuil d'amont.

4° On accroche à cette corde la hausse nouvelle, préalablement déposée sur le plancher; on l'élève dans la position que l'ancienne occupait au moment où on l'a saisie d'aval; on la laisse descendre lentement en la guidant par l'aval jusqu'à ce que la traverse inférieure du chevalet repose sur le radier; enfin, on fait glisser les tourillons dans les colliers et on place le coin à l'aide du plongeur.

On comprend que le vannage, tout en maintenant la retenue pendant la manœuvre, supprime les courants directs et latéraux au droit de l'engin à placer; qu'il rend

l'eau tranquille en aval, permet de fixer une échelle pour descendre en sûreté sur le radier, et facilite singulièrement le travail du plongeur. C'est avec ce procédé qu'on a mis en place les 460 hausses neuves de la haute Seine, à raison de deux en moyenne par jour.

La dépense des travaux s'est élevée sur les passes navigables à 406 679f,50; elle ressort à 828f,26 pour une hausse, y compris les frais de mise en place, qui peuvent être évalués à 35 francs environ.

DÉVERSOIRS.

Les anciens déversoirs étaient pourvus de hausses Chanoine. Un encoffrement en charpente supportait un radier dont le seuil se trouvait plus élevé de 1 mètre que celui des passes navigables. Les hausses régulatrices avaient ainsi une hauteur de 2 mètres. On les manœuvrait au moyen d'un treuil qui roulait sur une passerelle portée par des fermettes.

La décision ministérielle du 2 janvier 1878, qui a approuvé l'avant-projet des travaux destinés à augmenter le tirant d'eau sur la haute Seine, a spécifié, conformément à un avis du Conseil général des Ponts et Chaussées, que les déversoirs nouveaux seraient munis de fermettes et d'aiguilles à tous les barrages dont la retenue devait être exhaussée. Le système Chanoine était maintenu uniquement sur les ouvrages dont le bief amont ne subissait aucun relèvement.

D'après les dispositions de l'avant-projet, le radier primitif était remplacé par un radier en maçonnerie, ancré dans le béton de l'ancien coffrage, pendant un chômage qui permettait d'abaisser le niveau des biefs et de découvrir les parties fixes. C'est ainsi qu'a été opérée la transformation du déversoir de Port-à-l'Anglais. Mais nous

fûmes bientôt obligés de changer ce mode de construction. D'une part, en effet, le développement du trafic entraîna la suppression des chômages; et les affameurs, inévitables pendant le remplissage des biefs, occasionnaient dans la traversée de Paris des dénivellations très nuisibles à la circulation des bateaux-omnibus. D'autre part, on reconnut que plusieurs des déversoirs, exécutés dans des conditions très économiques, n'étaient pas capables de supporter les nouvelles charges qui leur seraient imposées. L'encoffrement, qui avait été rempli de pierres cassées ou de cailloux, surmontés d'une épaisseur de béton égale à 1 mètre, était devenu un véritable crible à travers lequel le bief d'amont se vidait dans celui d'aval.

L'Administration supérieure approuva alors un nouveau programme : les travaux ont été exécutés barrages debout, en reconstruisant les déversoirs dont la solidité était compromise, et en économisant la modification des radiers sur les déversoirs qui offraient une résistance suffisante. Ceux-ci ont été surmontés de hausses Chanoine de même type que les anciennes, sauf en ce qui concerne la charpente qui a été renforcée comme dans les passes, et la hauteur qui a été augmentée de $0^{m},40$. Ceux-là, établis en amont des premiers barrages, qui leur ont servi d'arrière-radiers, ont été formés par des aiguilles, suivant la disposition approuvée dans l'avant-projet pour les nouveaux ouvrages mobiles.

Les hausses Chanoine ressemblent d'une façon trop directe aux appareils construits primitivement pour qu'il soit nécessaire d'en exposer le mécanisme.

Quant aux déversoirs Poirée (Pl. 17), leur coupe est figurée sur la figure 2, et elle reproduit les installations ordinairement adoptées dans ces travaux. Les fermettes (*fig.* 3 et 4), ont une hauteur de 3 mètres et sont constituées par des fers en U, dans le système employé sur la Saône. Elles pèsent 248 kilogrammes. Les aiguilles, de $3^{m},50$ de lon-

gueur et de $\frac{0,08}{0,08}$ d'équarissage, sont pourvues d'un crochet de manœuvre dont nous avons exposé le fonctionnement dans un article spécial inséré aux *Annales* de septembre 1881 (page 220). Le transport de ces aiguilles s'opère au moyen d'un chariot qui se meut sur un chemin de fer fixé sur la traverse supérieure des fermettes : la voie se prolonge sur le terre-plein du barrage jusque dans le magasin (*fig.* 1), et les appareils mobiles sont ainsi conduits très facilement du déversoir au lieu de dépôt ou vice versa.

Le plancher de la passerelle, arrasé à $0^m,47$ au-dessus du niveau de la retenue, est maintenu sur la traverse supérieure de la fermette au moyen d'un appareil très simple, imaginé par M. le conducteur Bertauche (*fig.* 5). La tête de chaque fermette porte deux cornières, munies, l'une d'une goupille fixe, l'autre d'un anneau. Les planches sont assujetties par des brides dont les extrémités sont retournées d'équerre. L'une de ces extrémités est percée d'un trou et correspond à la goupille ; l'autre, repliée sur elle-même en forme cylindrique, présente en son milieu une échancrure légèrement plus large que l'anneau fixe de l'équerre, de telle sorte que la partie évidée de la bride puisse coiffer ledit anneau, et qu'alors les trous de l'anneau et de la bride soient dans le prolongement l'un de l'autre et constituent une véritable charnière de fenêtre. Pour fixer les planches, on fait pénétrer la bride dans la goupille fixe, on place l'anneau entre les branches de l'autre extrémité, et on passe une goupille mobile dans la charnière.

Nous avons montré dans la note de septembre 1881 les avantages des crochets pour la manœuvre des grandes aiguilles. Nous n'y reviendrons que pour confirmer les résultats obtenus avec ce système. La crémaillère dont nous nous étions servi primitivement pour l'arrachage a été supprimée en pratique par les éclusiers, qui soulèvent

les aiguilles simplement avec un morceau de bois appuyé sur les crochets voisins et formant levier sur le crochet de l'aiguille à enlever. La crémaillère est réservée uniquement pour les aiguilles isolées, et encore peut-on dans ce cas prendre appui sur un tasseau mobile. Cette manière d'opérer est du reste celle qui a été primitivement adoptée au barrage de Roanne, le premier dont les aiguilles aient été munies de crochets. Nous avions pensé que, nos barrages comportant des engins plus lourds, il était nécessaire d'employer des procédés mécaniques plus puissants; mais l'expérience a confirmé pour les crochets une règle qui est vraie pour toutes les parties d'un barrage et qui veut que le procédé le plus simple et le plus rustique soit toujours le meilleur.

Les essais réalisés au déversoir d'Ablon nous ont montré que l'enlèvement et le transport en magasin de 20 aiguilles de $3^{m},50$ exigent une durée moyenne de 12 minutes, se décomposant ainsi :

Inclinaison des 20 aiguilles à l'aide du levier	2 minutes,
Enlèvement et charge sur le chariot. .	6
Transport au magasin, décharge, rangement des aiguilles, retour du chariot sur le déversoir	4
Ensemble. . . .	12 minutes.

On peut donc en 10 minutes dégriller un nombre de travées occupé par 100 aiguilles, et effectuer le rangement complet de ces aiguilles en une heure. Cette vitesse de manœuvre permet d'ouvrir en 1 heure 20 minutes et de débarrasser entièrement en moins d'une journée un déversoir de 800 aiguilles, analogue à ceux de la haute Seine.

La dépense du déversoir d'Ablon, qui est de tous les déversoirs exécutés celui qui aura coûté le plus cher, tant à cause des difficultés de fondation que de la valeur des

matériaux de construction, est revenue à 267 812 francs pour une longueur totale de $70^m,10$.

Cette dépense comprend :

L'établissement des maçonneries et des parties fixes pour une somme de. . . . . 240 764^f,00

et la confection des ouvrages mobiles pour. 27 048 00

Le prix par mètre courant ressort à 3 820^f,43, savoir :

Parties fixes	3 434 58
Parties mobiles	385 85

RÉSUMÉ.

Passes navigables. — Les hausses Chanoine des passes navigables, ayant leur axe de rotation vers le milieu de la hauteur, et munies de vannes-papillons, ont amélioré sur la haute Seine une situation que les appareils primitifs avaient déjà rendue très bonne. Les seuls inconvénients des hausses anciennes étaient leur manque de solidité, leur basculement spontané, leur grande résistance au relèvement. Les nouveaux engins sont plus forts; leur stabilité est complète, et ils se mettent debout par la seule prédominance de la pression de l'eau sur la culasse.

Quelques Ingénieurs ont émis l'opinion que le mode de fermeture était assez indifférent sur les passes navigables, parce qu'on les abat rarement, tandis qu'il acquiert une grande importance su les déversoirs qu'on ouvre ou ferme d'une façon constante. Il est certain que l'influence du système se fait d'autant plus sentir que les manœuvres sont plus fréquentes. Mais il nous semble qu'il y a une condition essentielle à remplir dans les pertuis, c'est la rapidité de l'abatage et du relèvement. Il faut, le plus vite possible, livrer le chenal de la passe à la navigation, aussitôt que la

crue le permet. Il est nécessaire de rétablir la retenue artificielle dès que le niveau des eaux s'est abaissé en rivière libre au-dessous du mouillage normal. Or, les hausses Chanoine perfectionnées remplissent entièrement cette condition, puisqu'il suffit de quelques minutes si l'on veut les abattre, et qu'une passe de quarante-deux hausses ne demande guère plus d'une heure pour être relevée.

Toutefois l'usage du bateau de manœuvre, s'appuyant sur les hausses déjà en place pour mettre debout les hausses voisines, oblige à retarder la fermeture des passes jusqu'à ce que l'eau soit tombée notablement en contre-bas de la retenue. Sur la haute Seine, cette revanche indispensable est de 1 mètre. Si la pente totale des biefs excède cette hauteur, il y a encore assez d'eau sur le busc aval de l'écluse d'amont au moment où l'on peut boucher la passe navigable. Mais si cette pente est moindre, si une dérivation est établie dans le bief avec un plafond réglé dans l'hypothèse d'un plan de retenue correspondant exactement à la crête des hausses, le tirant d'eau n'est plus assuré dans la rivière pendant les quelques jours qui précèdent l'instant où la baisse des eaux rend possible la fermeture des passes.

Ces circonstances ne se produisent pas entre Paris et Montereau, et il y a encore plus de 2 mètres sur les buscs des écluses quand on entreprend la manœuvre des passes en aval. Il n'a donc pas été nécessaire d'installer en amont des passes navigables des fermettes portant une passerelle et un treuil, qui permettent le relèvement sans point d'appui sur les hausses. On se sert d'un bateau de manœuvre semblable à celui qui avait été construit par M. Chanoine, mais plus stable et plus fort; et parmi les opérations que nous avons faites avec ces engins, aucune n'a manqué.

Déversoirs. — Le fonctionnement, sur une même rivière, de hausses Chanoine et d'aiguilles surmontant des déver-

soirs construits dans des conditions de longueur et de hauteur identiques a donné des résultats comparatifs qu'il peut être intéressant de signaler. De nombreux mémoires ont été écrits sur les mérites relatifs des deux systèmes, et tous les arguments ont été mis en avant pour les défendre, ce qui semblerait prouver *a priori* qu'ils ont tous deux des avantages incontestables.

Tout le monde est d'accord pour admettre la supériorité des aiguilles lorsque leur longueur ne dépasse pas $2^m,50$ et que la chute du barrage est faible. Or, les aiguilles de $3^m,50$ sont aussi facilement maniables avec les crochets qu'avec des dimensions beaucoup moindres ; elles sont d'un usage très sûr, et si les crues de la rivière sont assez lentes pour qu'on ne soit pas gagné par les eaux en dégrillant 100 aiguilles par intervalles de dix minutes et en les rangeant en magasin dans un délai total d'une heure, l'adoption du système Poirée n'aura d'autre inconvénient que d'empêcher tout déversement superficiel. Le règlement du bief sera tout en entier entre les mains de l'éclusier, qui ne pourra compter ni sur un écoulement par-dessus la crête du barrage, ni sur une ouverture spontanée des ouvrages mobiles, mais qui, par contre, n'aura à manipuler que des engins rustiques, relativement petits, modifiant la section d'écoulement avec autant de lenteur qu'il le voudra, et exempts de toute espèce de dangers.

Les hausses Chanoine offrent au courant une surface quinze fois plus grande que les aiguilles, et elles exigent quinze fois plus de force. Elles sont supportées par des pièces soumises à des chocs et à des soulèvements qui peuvent projeter hausses et hommes dans le flot du barrage. Les articulations des mécanismes sont des organes un peu délicats, nécessitant beaucoup de soins et assez difficiles à réparer.

Néanmoins, en prenant la précaution bien simple de saisir une hausse à l'aide de deux chaînes, l'une agissant

l'autre retenant, on est arrivé sur l'Yonne et la haute Seine à prévenir tous les dangers; et depuis douze ans où l'on manœuvre chaque jour 26 déversoirs Chanoine, un seul accident est arrivé, en 1873, à Villeneuve-sur-Yonne, par la faute d'un éclusier qui n'avait pas suivi les instructions de ses chefs.

Donc, si les hausses réclament plus d'effort et plus d'adresse que les aiguilles, elles n'en constituent pas moins un système d'un usage courant sur l'Yonne et sur la Seine, et dont l'application a parfaitement réussi entre Auxerre et Paris.

Ces hausses présentent deux avantages capitaux : d'une part, elles laissent passer sur leur crête une lame déversante qui permet, sans manœuvre, l'écoulement d'un flot déjà important; d'autre part, elles se prêtent à un réglage des chaînes de volée qui provoque leur basculement partiel pour une surélévation déterminée du bief d'amont. Un éclusier, averti le soir qu'un mouvement d'eau surviendra la nuit, lâche quelques maillons de la chaîne de volée si l'eau doit monter; si c'est un affameur qui va venir, il tend cette chaîne sur le pince-mailles des fermettes, et il obtient un déversoir aussi fixe qu'avec des travées d'aiguilles.

En résumé, les caractères essentiels des déversoirs à aiguilles sont la rusticité du système, la facilité et la sécurité de la manœuvre. Le propre des hausses Chanoine est d'assurer aux biefs un règlement naturel tant par la lame déversante de superficie que par une automobilité relative qui permet de disposer d'avance le barrage en prévision d'un mouvement déterminé. La préférence pour l'un ou l'autre de ces ouvrages est une question d'espèce. Sur une rivière où le régime est aussi régulier que sur la Seine, les deux systèmes sont bons : il s'agit seulement de manœuvrer à propos les hausses et les aiguilles.

Paris, 7 décembre 1882.

(N° 30)

PAROLES PRONONCÉES

SUR LA TOMBE DE M. BRESSE

INSPECTEUR GÉNÉRAL DE DEUXIÈME CLASSE, PROFESSEUR A L'ÉCOLE DES PONTS ET CHAUSSÉES

1° PAR M. TARBÉ DE SAINT-HARDOUIN

Directeur de l'École.

MESSIEURS,

Un devoir bien triste et bien imprévu s'impose à moi dans les derniers jours de ma carrière active.

J'ai à adresser, au nom de l'École des Ponts et Chaussées, un suprême adieu au savant ingénieur, au professeur éminent dont les leçons ont jeté tant d'éclat sur notre enseignement.

Sorti de l'École polytechnique en 1843, et entré à l'École des Ponts et Chaussées à la tête d'une promotion qui a fourni un grand nombre d'ingénieurs distingués, M. Bresse, après quelques années de service dans les départements de Lot-et-Garonne et de l'Isère, s'est révélé, dès 1848, comme le digne continuateur des Prony, des Navier, des Coriolis, des Belanger, par la publication dans nos *Annales* de son premier mémoire *sur la résistance des arcs en bois ou en métal*, qui inaugurait tant de recherches utiles au progrès de l'art des constructions.

Ce travail appela l'attention sur le jeune ingénieur, et il était immédiatement attaché comme répétiteur au cours de mécanique appliquée professé à l'École des Ponts et

Chaussées par M. Belanger, qu'il remplaçait même quatre ans plus tard, en 1853

Depuis cette époque, trente promotions d'élèves ont profité de ses leçons, et toute sa vie a été consacrée au développement de l'instruction scientifique des jeunes ingénieurs.

En 1855 il remaniait et complétait ses études sur *la résistance des pièces courbes*, et plus tard il publiait en trois volumes le résumé de ses cours sur la résistance des matériaux, l'hydraulique et les ponts métalliques.

Ces travaux, plusieurs fois réimprimés et qui ont conquis une si grande autorité auprès des ingénieurs de tous les pays, ont ouvert à M. Bresse, en 1880, les portes de l'Institut.

Dès 1851, il était attaché comme répétiteur à l'École polytechnique et il y a rempli successivement, sans interruption et jusqu'à ses derniers jours, les fonctions d'examinateur et de professeur de mécanique.

Je ne saurais avoir la prétention d'apprécier ici la valeur scientifique des travaux de M. Bresse : cette tâche, déjà abordée par M. Darcel en 1855 et 1859, doit être réservée à des juges plus compétents que moi, mais il m'appartient de rendre hommage à son caractère si profondément sympathique, qui lui assurait l'amitié de tous ses collègues et le respectueux attachement de tous ses élèves ; à la rectitude inaltérable et à la sûreté de son jugement, enfin au dévouement consciencieux qu'il n'a cessé de déployer dans toutes les parties de cet enseignement auquel il avait voué toutes ses facultés et qui lui a donné en échange la juste récompense de ses travaux.

M. Bresse avait eu la satisfaction de voir son fils prendre un rang distingué dans ce corps d'ingénieurs au milieu desquels il vivait depuis trente-cinq ans et qui lui constituaient comme une seconde famille.

Il lui laisse un précieux héritage, le souvenir d'une vie toute remplie par le culte de la science et la pratique du bien.

Il y a quinze jours à peine M. Bresse faisait passer les examens de sortie à l'École des Ponts et Chaussées ; atteint d'une indisposition dont personne alors ne soupçonnait la gravité, mais qui a pris subitement dans les derniers jours un caractère inquiétant, M. Bresse, qui avait toujours vécu en chrétien, a vu arriver sa dernière heure avec cette calme sérénité qui faisait le fond de sa nature et il a reçu, au milieu des siens, les secours suprêmes de la religion.

Puissent le souvenir de cette belle mort et la confiance en la réunion dans un monde meilleur apporter quelque adoucissement aux douleurs d'une compagne et d'un fils si inopinément et si cruellement frappés !

2° Par M. LEFÉBURE DE FOURCY

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES

Avant que cette tombe se ferme, je viens adresser à l'homme éminent que la mort vient de nous enlever quelques paroles d'adieu, au nom du Corps des Ponts et Chaussées, qui s'honorait de le compter parmi les siens.

Dès le début de sa carrière, sans toutefois se séparer de nous, Charles Bresse se sentit porté moins vers la vie active des chantiers que vers les études théoriques, indispensables aussi à l'Ingénieur pour l'élaboration des projets qu'il doit réaliser.

Ce goût pour les recherches scientifiques révélait une véritable vocation et lui fraya la voie où les succès qu'il obtint l'engagèrent à persévérer toute sa vie.

Professeur à l'École des Ponts et Chaussées et à l'École polytechnique, il forma, pour sa part, toute une génération qui lui en garde un souvenir reconnaissant, à ces

conceptions à la fois abstraites et pratiques, qui de notre art font un art libéral et restent comme un trait d'union entre l'ingénieur et le savant.

Chacun des grades de notre Corps lui fut accordé sans retard, à son heure, avec l'assentiment unanime ; enfin — suprême honneur d'une carrière vouée toute entière à la science et à l'enseignement, — il y a deux ans, l'Institut lui ouvrait ses portes.

Chez lui, l'homme était à la hauteur du savant. Caractère bienveillant et affable, il attirait toutes les sympathies, conservait toutes les amitiés. Esprit ferme et droit, cœur religieux et élevé pendant toute sa vie, il ne connut que les nobles ambitions, ne voulut que le bien, n'eut d'autre règle que le devoir. Il meurt en chrétien, suivi des regrets respectueux de tous ceux qui l'ont approché, entouré de la considération publique.

Puissent ces derniers hommages, rendus à sa mémoire, adoucir — autant qu'elle peut être adoucie — la cruelle douleur que laisse sa mort prématurée et presque subite dans les cœurs de sa noble compagne et de son fils — l'un des nôtres aussi qui saura bien garder l'héritage de son nom.

3° Par M. PHILLIPS

MEMBRE DE L'INSTITUT.

Messieurs,

Je viens, au nom de l'Académie des sciences, adresser un suprême adieu à l'éminent confrère que nous venons d'avoir la douleur de perdre si inopinément. Homme de bien et de devoir, sa vie tout entière a été consacrée au travail et au culte de la science.

M. Jacques-Antoine-Charles Bresse naquit à Vienne (Isère) le 9 octobre 1822. Reçu à l'École polytechnique en 1841, il en sortit en 1843 dans le corps des Ponts et Chaussées, dont il conquit successivement tous les grades jusqu'à celui d'Inspecteur général de deuxième classe, qui lui fut conféré le 16 juillet 1881.

Voici quelles furent les fonctions remplies par lui pendant sa carrière, et qui témoignent de sa courageuse et constante assiduité. En 1848, peu de temps après sa sortie de l'École des Ponts et Chaussées, il fut nommé répétiteur de mécanique appliquée à cette École; puis, en 1853, chargé du cours à titre provisoire; enfin, en 1855, il fut nommé professeur titulaire de ce même cours. M. Bresse n'avait alors que trente-trois ans, et il a su élever à une grande hauteur l'enseignement dont il était chargé. Il a occupé cette chaire jusqu'à la fin, c'est-à-dire pendant vingt-huit ans.

Dès 1851, c'est-à-dire à vingt-neuf ans, il fut nommé répétiteur du cours de mécanique et de machines à l'École polytechnique; puis, en 1863, examinateur des élèves sur cette branche de la science, et enfin, en 1879, professeur titulaire de ce même cours.

On voit ainsi que, pendant de longues années, notre cher et très regretté confrère a supporté une charge très lourde par ses fonctions simultanées dans les deux importantes Écoles auxquelles il était attaché. Et cependant, il n'a jamais fléchi sous un pareil labeur et a toujours rempli sa tâche de la manière la plus méritoire.

Il a pu même trouver le temps de publier son cours à l'École des Ponts et Chaussées et a ainsi produit un ouvrage en plusieurs volumes, qui est un modèle de clarté et de science, et dans lequel il a résolu nombre de questions nouvelles et d'une grande importance. Aussi ce Traité est-il non seulement classique en France, mais encore très répandu à l'étranger, et est-il toujours consulté avec fruit par les ingénieurs et les savants.

Enfin, M. Bresse reçut le suprême honneur auquel puisse aspirer un homme de son mérite : il fut élu, le 31 mai 1880, membre de l'Académie des sciences, dans la section de mécanique, en remplacement du général Morin. Il ne semble pas que, devant cette tombe encore ouverte, on puisse entrer dans des détails étendus sur les titres scientifiques qui lui valurent cet insigne couronnement de sa carrière. On ne peut qu'en énoncer les principaux et en faire ressortir les traits les plus essentiels.

C'est ainsi que nous mentionnerons d'abord un Mémoire fort important, publié en 1854, présenté, après son impression, à l'Académie, par Combes et intitulé *Recherches analytiques sur la flexion et la résistance des pièces courbes*, accompagnées de tables numériques pour calculer la poussée des arcs chargés de poids d'une manière quelconque et leur pression maximum sous une charge uniformément répartie. Cette question, d'un puissant intérêt pour l'art de l'ingénieur, alors qu'il s'agit de la construction des grands arcs métalliques, avait été abordée par divers savants. Ainsi le problème de l'équilibre intérieur et de la flexion des pièces courbes a été, pour la première fois, étudié, dans quelques cas, par Euler en 1744. Lagrange a publié en 1769, dans les Mémoires de Berlin, un travail sur la force des ressorts pliés. La question avait été ainsi traitée à plusieurs reprises au point de vue analytique. Il restait à compléter ces recherches, afin d'en rendre les résultats utiles aux constructeurs. C'est ce que fit Navier dans son cours de mécanique à l'École des Ponts et Chaussées. Mais cet illustre savant avait cru pouvoir admettre une simplification qui entraîne, dans certains cas, des erreurs considérables. Un de nos confrères, dans son cours lithographié de l'École des Ponts et Chaussées, en 1837-1838, a le premier entrepris de combler cette lacune et il l'a fait pour le cas d'un arc soit de parabole, soit de cercle supposé chargé au milieu. M. Bresse a pu donner la solution

de cette même question dans le cas général d'un nombre quelconque de charges isolées en ramenant par un intelligent artifice les cas de non symétrie à ceux de symétrie et aussi aux cas d'une charge uniformément répartie sur toute la longueur soit de l'arc, soit de sa projection horizontale. Toutes les formules et les nombreuses tables numériques qu'il en a déduites sont très appréciées des constructeurs. Ses méthodes sont entrées dans l'enseignement et ont servi de point de départ à de nombreuses recherches sur le même sujet.

Nous croyons devoir dire aussi quelques mots d'un autre travail du même genre et d'une égale importance et qui, joint au précédent, a valu à son auteur, en 1874, le prix Poncelet de l'Académie. Il a pour titre : « Calcul des moments de flexion dans une poutre à plusieurs travées solidaires », et a pour objet tout ce qui se rapporte à la théorie des poutres droites métalliques comme celles des ponts de chemins de fer. Déjà, avant M. Bresse, plusieurs auteurs avaient traité diverses parties de la question; mais c'est lui qui en a donné la solution sous la forme la plus complète et la plus générale, et l'on jugera de l'importance de son travail par cette circonstance qu'il forme à lui seul un volume de près de quatre cents pages, dont la majeure partie lui appartient.

J'aurais eu encore beaucoup de choses à dire, tant au sujet des deux Mémoires de premier ordre dont je viens de parler succinctement, que des autres, en grand nombre, dont la science et l'art de l'ingénieur sont redevables à notre regretté confrère. Mais en en restant là, je crois mieux honorer la mémoire de celui dont la modestie égala toujours le mérite, et je ne fais ainsi qu'obéir au vœu de sa famille.

En terminant, j'ajouterai, ce qui n'est pas peu dire, que, chez lui, les qualités morales de l'homme étaient à la hauteur de la valeur du savant. Sa simplicité, sa droiture, sa

parfaite honorabilité, sa conscience scrupuleuse dans l'accomplissement de ses devoirs étaient connues de tous ceux qui l'approchaient et, en particulier, de celui qui a l'honneur, Messieurs, de vous parler et qui fut uni à M. Bresse par les liens d'une vieille amitié datant de l'époque où nous étions ensemble élèves à l'École polytechnique.

Sa veuve si cruellement éprouvée, son fils qui marche si dignement sur ses traces dans cette belle carrière des Ponts et Chaussées, ont eu, dans leur profonde douleur, la consolation suprême de le voir mourir dans les sentiments chrétiens que nous lui connaissions. Puissent les sympathies de l'Académie leur apporter aussi quelque soulagement et quelque résignation!

Adieu, cher confrère et ami. Adieu! Au revoir!

4° Par M. MERCADIER

DIRECTEUR DES ÉTUDES A L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE.

Messieurs,

Au nom de l'École polytechnique et de son Conseil de perfectionnement, j'ai le triste devoir de prendre la parole devant cette tombe prématurément et si inopinément ouverte.

C'est que celui qui vient d'y descendre a consacré à l'École la plus grande partie de sa vie.

Élève en 1841, il y rentrait comme répétiteur, en 1851, à vingt-neuf ans. Depuis ce temps, il ne l'a plus quittée. En 1863, il était nommé examinateur des élèves pour la mécanique, et pendant seize ans il en remplit l'emploi. En

1879, il devint professeur par permutation avec un de ses collègues. Enfin depuis deux ans, il faisait partie du Conseil de perfectionnement de l'École.

C'est à ce triple point de vue seulement que je voudrais, en quelques mots, rappeler les mérites de notre collègue, puisqu'on a tout à l'heure dignement loué sa valeur scientifique et ses travaux.

Examinateur de sortie, et, en cette qualité, juge de la valeur des élèves et exerçant ainsi sur leur avenir la plus grande influence, il possédait les qualités les plus nécessaires à ces difficiles et délicates fonctions : il avait le savoir, cela va sans dire ; l'urbanité, le sentiment profond de sa responsabilité, la justesse d'appréciation, l'impartialité la plus scrupuleuse.

Parmi les élèves des quinze promotions qu'il a jugées, beaucoup redoutaient sa sévérité, pas un ne se plaignit jamais de sa justice !

Professeur, il était avant tout soigneux, clair et précis. Respectueux de lui-même et de son auditoire, il ne lui apportait jamais que des choses étudiées, mûries, approfondies. Il ne laissait rien à l'imprévu, et, après avoir adopté un ensemble, il en perfectionnait sans cesse les détails.

Membre de nos Conseils, il y parlait peu, mais il y parlait toujours avec conviction et il était écouté.

Toutes ces qualités, Messieurs, peuvent se résumer en une seule : il était *consciencieux,* ou plutôt (en employant une expression vulgaire, incorrecte, mais expressive) c'était *la conscience même*. Ce fut un homme du devoir : il en avait le sentiment profond, et l'accomplissait simplement. C'est ainsi qu'il a passé plus de trente années parmi ses collègues, aimé de la plupart, estimé de tous.

Tel est l'homme que nous venons de perdre. Cette perte est grande pour l'École polytechnique. Elle le sait trop bien, et Bresse va prendre la place qui lui est due dans cette

foule d'hommes plus ou moins éminents qui l'ont aimée et servie, et dont elle garde pieusement le souvenir.

Que ses amis, sa famille, son fils, notre jeune et cher camarade me permettent de le dire : au moment où nous adressons à cette tombe un dernier adieu, nous avons l'espoir que l'expression unanime et bien sincère de nos regrets apportera sinon une consolation impossible, du moins un adoucissement à leur douleur.

(N° 31)

NOTE

SUR

L'EXPLOSION D'UN RÉCIPIENT DE VAPEUR DANS UNE FABRIQUE DE NOIR ANIMAL AU BOURGET (SEINE).

Extrait du rapport de M. l'Ingénieur des Mines Perrin.

La fabrique de noir animal, où l'accident s'est produit, renferme deux récipients presque semblables servant au séchage du noir animal qui vient d'être lavé. L'un d'eux consiste en un cylindre de 1^{m},65 de hauteur et 1^{m},12 de diamètre, avec un double fond formé d'une plaque métallique perforée et posée à 0^{m},06 au-dessus du fond plein, et deux orifices, l'un à la partie supérieure pour introduire la matière, l'autre à la partie inférieure pour la retirer. Ce dernier orifice a 0^{m},36 de diamètre; il se ferme au moyen d'un tampon appliqué contre les bords avec une rondelle intermédiaire de caoutchouc, maintenu dans cette position par une vis de pression munie d'une poignée, et dont l'écrou est formé par une barrette transversale en fer forgé fixée à deux oreilles, qui porte la tubulure.

Le séchage du noir s'effectue de la manière suivante : le double fond ayant été recouvert d'une toile d'emballage, on introduit le noir par l'orifice supérieur, de manière à remplir complètement le cylindre. Les deux orifices étant refermés, on fait arriver la vapeur à la partie supérieure de l'appareil; après une première et courte période de condensation, la vapeur qui continue à affluer refoule peu à peu

l'eau qui occupe les interstices des fragments de noir, cette eau traverse la toile et les trous du double fond pour s'accumuler dans l'espace vide inférieur, et s'écoule par un tuyau de vidange, long de 10 mètres, débouchant à l'air libre. Lorsqu'il ne sort plus d'eau à l'extrémité de ce tuyau, mais seulement de la vapeur, l'opération est terminée; on desserre la vis, on enlève le tampon et on décharge l'appareil.

Pour éviter que le tuyau d'évacuation ne vînt à s'engorger, ce qui arrivait cependant quelquefois, il était recommandé de visiter et nettoyer, tous les quatre ou cinq jours, l'espace vide au-dessous du double fond, dans lequel pouvaient pénétrer des fragments de toile et de noir.

Le 4 avril 1882, un ouvrier, qui était chargé depuis longtemps de la conduite des deux récipients, introduisit la vapeur dans l'un deux et s'absenta pendant une heure; à son retour, il ferma le robinet d'admission, et remarquant un suintement d'eau par le joint du tampon, il voulut resserrer ce joint en agissant sur la poignée de la vis au moyen d'une forte clef servant de levier; mais la barrette se brisa et le tampon fut projeté en avant, livrant passage à un jet d'eau, de vapeur et de noir chauffé à plus de 100°, qui atteignit le malheureux ouvrier et le brûla mortellement.

La section de la barrette, au point où elle s'est brisée, est de $0^{m},050$ sur $0^{m},020$; l'aspect de la cassure semble indiquer que le fer avait été brûlé à la forge lors de la fabrication de la pièce, et ne présentait par suite qu'une résistance réduite. A $0^{m},038$ de la cassure, on voyait une fissure de $0^{m},012$ de longueur; peut-être une fissure semblable préexistait-elle dans la section de rupture. Quoi qu'il en soit, la barrette n'aurait probablement pas cédé, ou même eût-elle cédé sous l'effort exercé par l'ouvrier, il n'y aurait pas eu projection violente du tampon et des matières contenues dans le récipient, s'il n'avait pas existé à l'intérieur une pression notable. Une telle pression ne

pouvait se développer et surtout se maintenir après la fermeture du robinet d'admission de vapeur, qu'en cas d'obstruction du tuyau d'échappement.

En démontant le joint à bride qui réunit les deux moitiés du tuyau d'évacuation, et dans le rétrécissement formé par ce joint, on a retrouvé un tampon de chiffons provenant évidemment des débris accumulés au fond du cylindre depuis le dernier nettoyage, et refoulés dans le tuyau jusqu'à l'obstacle formé par le rétrécissement existant vers le milieu de sa longueur.

Aucun des deux récipients n'était pourvu d'une soupape de sûreté, parce qu'ils avaient été considérés comme fonctionnant à l'air libre, l'intérieur restant en communication avec l'atmosphère par le tuyau d'évacuation qui ne porte aucun robinet. Toutefois, il est clair que ce tuyau de 10 mètres de longueur et $0^{m},032$ de diamètre ne saurait être considéré comme un des moyens de communication visés par l'article 30 du décret du 30 avril 1880, et excluant toute pression effective nettement appréciable : d'une part, il peut s'obstruer aisément, d'autre part, le fonctionnement même de l'appareil en marche normale suppose l'existence d'une certaine pression, capable de vaincre la résistance qu'oppose au passage de l'eau une couche filtrante de $1^{m},50$ environ d'épaisseur de noir animal en menus fragments. Nous avons dû signaler ces circonstances, comme constituant des contraventions aux articles 30, 31 et 32 du décret de 1880.

L'accident ne se serait pas produit, ou il n'aurait pas eu la même gravité, si le récipient avait été éprouvé et pourvu d'une soupape de sûreté; cette inobservation des règlements nous paraît devoir être considérée comme la cause principale de l'accident.

Depuis lors, ces appareils ont été régularisés. Comme ce moyen de séchage est assez répandu, et que d'autres industriels pourraient considérer leurs appareils comme échap-

pant à toute réglementation, il serait utile de donner à l'accident du 4 avril une certaine publicité officielle, afin de prévenir autant que possible le retour de faits de même nature.

Avis de la Commission centrale des machines à vapeur.

Le rapport présenté à la Commission centrale des machines à vapeur, dans sa séance du 21 novembre 1882, par M. l'ingénieur en chef Luuyt, se termine par les observations suivantes :

« Trop souvent les circonstances dans lesquelles fonctionnent des récipients sont mal appréciées, et ils se trouvent exposés à une pression effective, en prévision de laquelle ils n'ont pas été construits, et qu'ils ne peuvent supporter.

« Le genre de récipient qui n'est pas soumis au règlement est tel que la production d'une pression effective y soit aussi impossible que la production, dans un générateur, d'une pression supérieure à celle qui correspond à la charge des soupapes de sûreté. Si l'appareil ne satisfait pas à cette condition, il est soumis aux règles prescrites par le titre V du décret du 30 avril 1880.

« Il serait utile de mettre en évidence, par une insertion aux *Annales des Mines* et aux *Annales des Ponts et Chaussées,* ce nouvel exemple du danger qu'entraîne l'inobservation de ces règles. »

Cet avis a été adopté par la Commission.

N° 32

MINISTÈRE D[illegible]

DIRECTION DE L'EXPLOITATION, DU CON[illegible]

DIVISION DU CONTROLE DES COM[illegible]

RECETTES DE L'EXPLOITATION DES CHEMINS DE FER FRANÇ[illegible]

NOMS DES CHEMINS.	LONGUEUR totale exploitée au 31 décembre 1881	1882	LONGUEUR moyenne exploitée pendant l'a[illegible] 1881	1882
				ANCI[illegible]
	kilom.	kilom.	kilom.	[illegible]
Nord	1.353	1.358	1.345	[illegible]
Est	(a) 744	(a) 744	(a) 753	(a) [illegible]
Ouest	900	900	900	[illegible]
Paris à Orléans	2.017	2.017	2 017	[illegible]
Paris-Lyon-Méditerranée	(b) 4.533	(b) 4.765	(b) 4 504	(b) [illegible]
Midi	796	820	796	[illegible]
Ceinture de Paris (R. D.)	(c) 20	(c) 20	(c) 20	(c) [illegible]
Grande-Ceinture de Paris	(d) 34	(d) 96	(d) 34	(d) [illegible]
Totaux et moyennes	(e) 10.385	(e) 10.700	(e) 10.357	(e) [illegible]
				NOUV[illegible]
Nord	675	712	670	[illegible]
Est	2.055	2.208	2.032	[illegible]
Ouest	2.223	2.247	2.179	[illegible]
Paris à Orléans	2.342	2.342	2.342	[illegible]
Paris-Lyon-Méditerranée	1.576	1.576	1.549	[illegible]
Midi	1.518	1.518	1.518	[illegible]
Totaux et moyennes	10.389	10.603	10.290	[illegible]
				RÉS[illegible]
Paris-Lyon-Méditerranée (le Rhône au mont Cenis)	144	144	(f) 132	(f) [illegible]
		LIGNES APPARTENA[illegible]		
Réseau de l'État	(g) 2.004	(g) 2.089	1.885	(g) [illegible]
Pons à la Tremblade (h)	69	69	69	[illegible]
Limoges au Dorat (i)	56	56	53	[illegible]
Limoges à Eymoutiers (i)	41	41	41	[illegible]
Saillat à Bussière-Galant (i)	44	44	44	[illegible]
Velluire à Niort (i)	(j) 45	(j) 45	9	(j) [illegible]
Niort à Montreuil-Bellay (i)	»	102	»	[illegible]
Vendôme à Blois et à Pont-de-Braye (i)	60	60	7	[illegible]
Cholet à Clisson (i)	»	38	»	[illegible]
L'Ile-Bouchard à Port-Boulet (i)	»	28	»	[illegible]
Ribérac à Périgueux (i)	29	29	»	[illegible]
Dunkerque à la frontière belge (k)	15	15	15	[illegible]
Compiègne à Soissons (k)	32	32	18	[illegible]
Lens à Bauvin-Provin (k)	»	12	»	[illegible]
Armentières à la frontière belge (k)	3	3	3	[illegible]
Lérouville à Sedan (l)	143	143	143	[illegible]
Bondy à Aulnay-lez-Bondy (l)	8	8	8	[illegible]
Nançois-le-Petit à Gondrecourt (l)	35	35	35	[illegible]
Gondrecourt à Neufchâteau (l)	32	32	32	[illegible]
Mirecourt à Chalindrey (l)	88	88	74	[illegible]

…AVAUX PUBLICS.

…ER ET DE LA STATISTIQUE DES CHEMINS DE FER.

… COMPAGNIES DE LA STATISTIQUE.

…TÉRÊT GÉNÉRAL PENDANT LES ANNÉES 1881 ET 1882.

Recettes totales de l'année 1881	Recettes totales de l'année 1882	Différence entre 1881 et 1882 (*).	Par kilomètre — Recette totale. 1881	Par kilomètre — Recette totale. 1882	Différence entre 1881 et 1882 — totale (*).	Différence entre 1881 et 1882 — pour 100 (*).
…ÉSEAU.						
francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.
…851.929	138.456.734	+ 3.604.805	100.262	102.182	+ 1.920	+ 1,91
…047.389	55.913.725	+ 866.336	73.104	75.153	+ 2.049	+ 2,80
…856.851	86 380.034	+ 1.523.183	94.285	95.978	+ 1.693	+ 1,80
…147.492	123.173.240	+ 2.025.748	60.113	61.068	+ 955	+ 1,59
…396.331	313.266.062	— 4.130.269	70.470	67.676	— 2.794	— 3,96
…939.751	69.890.147	+ 1.950.396	85.351	87.254	+ 1.903	+ 2,23
…761.528	6.596.926	— 164.602	338.076	329.846	— 8.230	+ 2,43
1.302.189	2.063.019	+ 760.830	38.300	26.449	— 11.851	— 30,94
…303.460	795.739.887	+ 6.436.427	76.210	75.619	— 591	— 0,78
…ÉSEAU.						
17.798.259	18.319.048	+ 520.789	26 565	27.019	+ 454	+ 1,71
…161.719	71.720.672	+ 1.559.053	34.528	34.715	+ 187	+ 0,54
…417.902	46.270.568	+ 2.852.666	19.926	20.721	+ 795	+ 3,99
…577.482	52.325.508	+ 748.026	22.023	22.342	+ 319	+ 1,45
…697.386	24.499.692	+ 802.306	15.299	15.545	+ 246	+ 1,61
…204.738	30.269.142	+ 1.064.404	19.239	19.940	+ 701	+ 3,64
…857.486	243.404.730	+ 7.547.244	22.921	23.375	+ 454	+ 1,98
…PÉCIAL.						
…599.066	6.471.278	— 127.788	49.993	49.025	— 968	— 1,94
…L'ÉTAT.						
19.204.189	21.215.546	+ 2.011.357	10.188	10.364	+ 176	+ 1,73
380.667	425.415	+ 44.748	5.517	6.165	+ 648	+ 11,75
205.367	266 099	+ 60.732	3.875	4.752	+ 877	+ 22,63
255.328	304.701	+ 49.373	6.228	7.432	+ 1.204	+ 19,33
96.522	127.930	+ 31.408	2.194	2.907	+ 712	+ 32,50
48.863	278.055	+ 229.192	5.429	6.179	+ 750	+ 13,81
»	69.446	+ 69.446	»	3.157	+ 3.157	»
25.230	275.781	+ 250.551	3.604	4.596	+ 992	+ 27,53
»	88.456	+ 88.456	»	4 423	+ 4 423	»
»	16.588	+ 16.588	»	2.073	+ 2.073	»
»	132.353	+ 132.353	»	4.564	+ 4.564	»
166.917	149.988	— 16.929	11.128	9.999	— 1.129	— 10,15
152.852	256.004	+ 103.152	8.492	8.000	— 492	— 5,19
»	973	+ 973	»	973	+ 973	»
38.329	38.110	— 219	12.776	12.703	— 73	— 0,57
809 694	1.058.146	+ 248.452	5.662	7.400	+ 1.738	+ 30,70
38.294	41.502	+ 3.208	4.787	5.188	+ 401	+ 8,38
167.271	185.448	+ 18.177	4.779	5.299	+ 520	+ 10,88
57.356	122.724	+ 65.368	1.792	3.835	+ 2.043	+ 114,01
842.524	1.265.708	+ 423.184	11.885	14.383	+ 2.498	+ 26,33

NOMS DES CHEMINS.	LONGUEUR totale exploitée au 31 décembre 1881	LONGUEUR totale exploitée au 31 décembre 1882	LONGUEUR moyenne exploitée pendant l'a[nnée] 1881	LONGUEUR moyenne exploitée pendant l'a[nnée] 1882
	LIGNES	APPARTENAN[TES]		
	kilom.	kilom.	kilom.	kilom.
Andilly à Langres (*l*)	17	17	4	17
Nomeny vers Frouard et raccordement (*l*)	»	23	»	6
Toul à Colombey et Favières (*l*)	33	33	»	33
Baccarat à Badonviller (*l*)	14	14	»	14
Arches à Laveline et embranchements	72	72	72	72
Lunéville à Gerbéviller (*l*)	»	10	»	2
Amagne à Apremont (*l*)	65	65	65	65
Raccordement entre la ligne de Grande-Ceinture et la gare act. de Saint-Germain (*m*)				
Sainte-Gauburge à Mesnil-Mauger (*m*)				
Alençon à Domfront (*m*)				
Prez-en-Pail à Fougères (*m*)				
Vitré à Fougères et prolongements (*p*)				
Caen à Dozulé (*m*)				
Echauffour à Bernay (*m*)				
Couterne à la Ferté-Macé (*m*)				
Port d'Isigny à la ligne de Caen à Cherbourg (*m*)	530	557	244	537
Lisieux à Orbec (*m*)				
La Trinité de Réville à Orbec (*m*)				
Mezidon à Dives (*m*)				
Châteaubriant à Rennes et embranchement (*m*)				
Dives à Beuzeval (*m*)				
Villers à Trouville (*m*)				
Questembert à Ploërmel (*n*)	33	33	18	33
Sarlat à Siorac (*n*)	»	25	»	13
Auray à Quiberon (*n*)	»	26	»	11
Aubusson à Felletin (*n*)	»	10	»	3
Mamers à Laigle (*o*)	72	72	24	72
Mortagne à Sainte-Gauburge (*o*)	35	35	»	35
Perpignan à Prades (*o*)	40	40	40	40
Bonson à Saint-Bonnet le Château (*p*)	»	27	27	27
Totaux et moyennes	3.615	4.028	2.930	3.7[illegible]
			COMPAGNI[ES]	
Picardie et Flandres	29	43	»	[illegible]
Lille à Béthune et à Bully-Grenay	50	50	(*q*) 40	(*q*) 40
Lille à Valenciennes et extensions	73	73	73	73
Nord-Est	(*r*) 240	(*r*) 258	(*r*) 240	(*r*) 252
Somain à Anzin	37	37	37	37
Chauny à Saint-Gobain	15	15	15	15
Hazebrouck à la frontière belge	(*s*) 15	(*s*) 15	(*s*) 15	(*s*) 15
Enghien à Montmorency	3	3	3	3
Epernay à Romilly	(*t*) »	»	»	»
Nancy à Vézelise et embranchements				
Nancy à Château-Salins et à Vic				
Vassy à Saint-Dizier	22	22	22	22
Vassy à Doulevant-le-Château	16	16	6	16
Dombes et Sud-Est	(*u*) 175	(*u*) 204	(*u*) 175	(*u*) 197
Rhône (la Croix-Rousse à Sathonay)	7	7	7	[illegible]
Alais au Rhône	»	59	»	[illegible]
Marseille (banlieue sud et vieux port de)	3	3	3	[illegible]
Médoc	100	100	100	10[illegible]
Totaux et moyennes	(*x*) 778	(*x*) 898	(*x*) 729	(*x*) [illegible]

RECETTES totales de l'année 1881	RECETTES totales de l'année 1882	DIFFÉRENCE entre 1881 et 1882.	PAR KILOMÈTRE Recette totale 1881	PAR KILOMÈTRE Recette totale 1882	PAR KILOMÈTRE Différence entre 1881 et 1882. totale (*).	PAR KILOMÈTRE Différence entre 1881 et 1882. pour 100 (*).
A L'ÉTAT (*suite*).						
francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.
13.234	54.610	+ 41.376	3.309	3.212	— 97	— 2,93
»	15.617	+ 15.617	»	2.603	+ 2 603	»
»	75.730	+ 75.730	»	2.295	+ 2.295	»
»	28.711	+ 28.711	»	2.051	+ 2.051	»
602.549	658.627	+ 56.078	8.369	9.148	+ 779	+ 8,31
»	3.989	+ 3.989	»	1.995	+ 1.995	»
300.637	375.917	+ 75.280	4.625	5.783	+ 1.158	+ 25,04
1.028.478	2.554.407	+ 1.515.929	4.215	4.738	+ 523	+ 12,41
52.709	103.821	+ 51.112	2.928	3.146	+ 218	+ 7,45
»	99.154	+ 99.154	»	7.627	+ 7.627	»
»	39.594	+ 39.594	»	3.599	+ 3.599	»
»	13.883	+ 13.883	»	4.628	+ 4.628	»
53.885	204.075	+ 150.190	2.245	2.834	+ 589	+ 26,24
»	53.607	+ 53.607	»	1.532	+ 1.532	»
971.824	858.496	— 113.328	24.296	21.462	— 2 834	— 11,66
139.745	131.818	— 7.927	5.176	4.882	— 294	— 5.68
25.652.464	31.581.029	+ 5.928.565	8.755	8.359	— 396	— 4,52
DIVERSES.						
»	215.875	+ 215.875	»	5.834	+ 5.834	»
1.111.261	1.210.929	+ 99.668	27.782	30.273	+ 2.491	+ 8,97
1.892.926	2.032.924	+ 139.998	25.930	27.848	+ 1.918	+ 7,40
2.398.208	2.717.810	+ 319.602	9.993	10 785	+ 792	+ 7,93
3.572.832	3.620.257	+ 47 425	96.563	97.845	+ 1.282	+ 1,33
251.701	248.315	— 3.386	16.780	16.554	— 226	— 1,35
91.482	97.501	+ 6.019	6.099	6.500	+ 401	+ 6,57
168.287	167.955	+ 6.019	56.095	55.985	— 110	+ 0,20
»	»	»	»	»	»	»
307.865	332.758	+ 24.893	13.994	15.125	+ 1.131	+ 8,09
19.556	59 874	+ 40.318	3.259	3.742	+ 483	+ 14,82
2.615.025	2.851.059	+ 236.034	14.943	14.472	— 471	— 3,15
240.544	276.706	+ 36.162	34.363	39.529	+ 5.166	+ 15,03
»	»	»	»	»	»	»
46.649	38.754	— 7.895	15.550	12.918	— 2.632	— 16,93
1.116.962	1.169.516	+ 52.554	11.170	11.695	+ 525	+ 4,70
13.833.298	15.040.233	+ 1.206.935	18.976	18.568	— 408	— 2,15

NOMS DES CHEMINS.	LONGUEUR totale exploitée au 31 décembre		LONGUEUR moyenne exploitée pendant l'année	
	1881	1882	1881	1882
				RÉCAPI
Ancien réseau	(e) 10.385	(e) 10.700	(e) 10.357	(e) 10.523
Nouveau réseau	10.389	10.603	10.290	10.413
Réseau spécial	144	144	(f) 132	(f) 132
Lignes appartenant à l'Etat	3.615	4.028	2.930	3.778
Compagnies diverses	(x) 778	(x) 898	(x) 729	(x) 810
Totaux généraux et moyennes	(z) 25.272	(y) 26.334	(z) 24.399	(z) 25.617

(*) Les différences sont affectées du signe + lorsque la recette de 1882 est supérieure

OBSERVATIONS.

(*a*) Y compris les anciennes lignes d'intérêt local : d'Epernay à Romilly (84 kilomètres); Nancy à Vézelise et embranchements (35 kilomètres) et de Nancy à Château-Salins et à Vic (24 kilomètres), et déduction faite, pour 1882, de 12 kilomètres sur le territoire d'Alsace-Lorraine exploités par la compagnie de l'Est. jusqu'au 1er novembre 1881 seulement.

(*b*) Y compris 15 kilomètres sur le territoire suisse, de la frontière à Genève.

(*c*) Y compris 3 kilomètres pour l'embranchement du marché aux bestiaux de la Villette, appartenant à la ville de Paris.

(*d*) Y compris 20 kilomètres de parcours communs, en 1881, et 28 kilomètres en 1882, avec les compagnies de l'Est, de l'Ouest et de Paris-Lyon-Méditerranée, savoir : Est : Noisy-le-Sec à Nogent-sur-Marne, 1881 et 1882, N. R. (8 kil.), et Champigny à Sucy-en-Brie, 1881 (5 kil.); Ouest : Versailles (Chantiers), à Versailles (Matelots), 1882 (2 kil). et d'Achères à Sartrouville, 1882 (6 kilomètres) : Paris-Lyon-Méditerranée : Villeneuve-Saint-Georges à Juvisy, 1881 et 1882 (7 kil).

(*e*) Déduction faite des sections de l'ancien réseau empruntées par le chemin de fer de Grande-Ceinture : 20 kilomètres en 1882 et 12 kilomètres en 1881 (voir note *d*).

(*f*) Non compris la section de Modane à la frontière d'Italie (12 kil.).

(*g*) Y compris 15 kil. de parcours communs avec les compagnies de l'Ouest, de Paris à Orléans et de Paris-Lyon-Méditerranée, mais non compris 10 kil. exploités par la compagnie d'Orléans à Châlons-sur-Marne (ligne d'intérêt local).

(*h*) Ligne d'intérêt local rachetée par l'Etat et exploitée par l'administration des chemins de fer de l'Etat.

(*i*) Lignes exploitées par l'administration des chemins de fer de l'Etat.

(*j*) Y compris 15 kilomètres de parcours communs avec la compagnie de Paris à Orléans, de Benet à Niort.

(*k*) Lignes exploitées provisoirement par la compagnie du chemin de fer du Nord.

(*l*) Lignes exploitées provisoirement par la compagnie des chemins de fer de l'Est.

(*m*) Lignes exploitées provisoirement par la compagnie des chemins de fer de l'Ouest.

(*n*) Lignes exploitées provisoirement par la compagnie du chemin de fer d'Orléans.

(*o*) Lignes exploitées provisoirement en régie.

(*p*) Lignes achetées par l'Etat en vertu des lois des 10 et 24 juillet 1882, et exploitées provisoirement par les anciennes compagnies.

(*q*) Non compris la section de Violaines à Bully-Grenay (10 kil.), exploitée par la compagnie des mines de Béthune.

RECETTES totales de l'année 1881	1882	DIFFÉRENCE entre 1882 et 1881 (*).	PAR KILOMÈTRE Recette totale 1881	1882	Différence entre 1881 et 1882. totale (*).	pour 100 (*).
TULATION.						
789.303.460	795.739.887	+ 6.436.427	76.210	75.619	— 591	— 0,78
235.857.486	243.404.730	+ 7.547.244	22.921	23.375	+ 454	+ 1,98
6.599.066	6.471.278	— 127.788	49.993	49.025	— 968	— 1,94
25.652.464	31.581.029	+ 5.928.565	8.755	8.359	— 396	— 4,52
13.833.298	15.040.233	+ 1.206.935	18.976	18.568	— 408	— 2,15
1.071.245.774 (A)	1.092.237.157 (A)	+ 20.991.313	43.905	42.637	— 1.268	— 2,89

à celle de 1881; elles sont affectées du signe — dans le cas contraire.

(r) Y compris 2 kil. sur le territoire belge, à Comines et à Menin.
(s) Y compris 1 kil. de parcours commun avec la compagnie du Nord à Hazebrouck.
(t) Lignes exploitées par la compagnie de l'Est (ancien réseau), depuis le 26 novembre 1879 (voir note *a*).
(u) Y compris 7 kil. de parcours commun avec la compagnie du Rhône.
(v) La compagnie, malgré plusieurs rappels, n'a fourni aucun renseignement.
(x) Non compris la section de Vireux à la frontière (2 kil.), dont les produits ne figurent pas au présent tableau, et déduction faite des parcours communs (voir note *u*).
(y) Les sections ouvertes à l'exploitation pendant l'année 1882 ont une étendue de 1,062 kil., savoir :

ANCIEN RÉSEAU.

		kil.
Nord. — Bavai à la frontière belge, le 20 août		5
Paris-Lyon-Méditerranée. — Roanne à Paray-le-Monial, le 1er juin	57	232
— Thonon à Evian, le 1er juin	9	
— Dijon à Seurre, le 20 juin	42	
— Avallon à Dracy-Saint-Loup, le 23 août	70	
— Nîmes à Sommières, le 30 octobre	23	
— Sommières aux Mazes, le 30 octobre	21	
— Aubenas à Prades, le 30 octobre	10	
Midi. — Mont-de-Marsan à Roquefort, le 15 octobre		24
Grande-Ceinture de Paris. — Achères à Noisy-le-Sec, le 2 janvier	29	54
— Versailles à Achères, le 4 septembre	25	
Total pour l'ancien réseau		315

NOUVEAU RÉSEAU.

Nord. — Abbeville au Tréport, le 4 décembre		37
Est. — Embranchement de la vallée de l'Orne, le 20 juillet	4	153
— Châtillon à Is-sur-Tille, le 9 décembre	70	
— Révigny à Vouziers, le 10 décembre	79	
Ouest. — Duclair à Caudebec, le 31 juillet	15	24
— Bolbec à Lillebonne, le 31 juillet	9	
Total pour le nouveau réseau		214

LIGNES APPARTENANT A L'ÉTAT.

Réseau de l'État. — Châteauroux à la Châtre, le 8 janvier.	36	85
— Eygurande à Largnac, le 5 novembre.	49	

Lignes non rattachées au réseau de l'État :

Cholet à Clisson, le 25 juin.	38
Sarlat à Siorac, le 2 juillet.	25
Chinon à Port-Boulet, le 2 juillet.	13
Auray à Quiberon, le 24 juillet.	26
Aubusson au Felletin, le 28 août.	10
La Trinité-de-Réville à Orbec, le 18 septembre.	13
Villers à Trouville, le 18 septembre.	9
Dives à Beuzeval, le 18 septembre.	2
Nomeny à Pompey et raccordement, le 23 septembre.	23
Niort à Montreuil-Bellay, le 16 octobre	102
Lunéville à Gerbéviller, le 28 octobre.	10
L'Ile Bouchard à Chinon, le 25 novembre.	15
Raccordement entre la ligne de Grande-Ceinture et la gare actuelle de Saint-Germain, le 30 novembre.	3
Lens à Bauvin-Provin, le 1[er] décembre.	12
Ajoutant : Bonson à Saint-Bonnet le Château, ligne passée dans le réseau d'intérêt général, le 24 juillet.	27
Total pour les lignes appartenant à l'Etat.	413

COMPAGNIES DIVERSES.

Picardie et Flandres. — Aubigny-au-Bac à Somain, le 15 juin 1882.	14
Nord-Est. — Chauny à Anisy, le 1[er] mai 1882.	18
Dombes et Sud-Est. — La Cluse à Bellegarde, le 1[er] avril 1882.	29
Alais au Rhône. — Alais au Port-l'Ardoise et raccordement, le 31 juillet 1882.	59
Total pour les compagnies diverses.	120
Ensemble.	1.062
Longueur exploitée au 31 décembre 1881.	(*) 25.272
Longueur exploitée au 31 décembre 1882.	26.334

(*) Y compris 12 kil. sur le territoire d'Alsace-Lorraine, voir note (*a*), 15 kil. sur le territoire suisse, voir note (*b*), 3 kil. pour l'embranchement du marché aux bestiaux de la Villette, voir note (*c*), et 2 kil. sur le territoire belge, voir note (*r*), mais non compris les parcours communs, voir notes (*d*), (*e*), (*g*), (*j*) et (*s*), ainsi que les lignes qui ne figurent pas dans le présent tableau, voir notes (*f*), (*q*) et (*x*).

(*z*) Déduction faite de 8 kil. de parcours communs, de Noisy-le-Sec à Nogent-sur-Marne, comptés dans l'ancien réseau (chemin de Grande-Ceinture) et dans le nouveau réseau (chemins de l'Est), de 15 kilomètres de parcours communs aux compagnies de l'Ouest, de Paris à Orléans et de Paris-Lyon-Méditerranée, voir note (*g*), de 15 kilomètres de parcours communs avec la compagnie de Paris à Orléans (depuis le 17 octobre 1881), voir note (*j*), et de 1 kilomètre de parcours commun avec la compagnie du Nord, voir note (*s*).

(A) Déduction faite des détaxes et non compris les impôts sur les transports de la grande vitesse, qui s'élèvent aux chiffres suivants :

Année 1882.	88.565.730 fr.
Année 1881.	86.738.473

NOTA. — Les comptes du quatrième trimestre de 1882 n'étant pas encore définitivement arrêtés, les chiffres qui se rapportent à cette période peuvent être susceptibles de quelques modifications.

CHRONIQUE.

(JUIN 1883)

(N° 34)

MATÉRIAUX D'EMPIERREMENT
EMPLOYÉS DANS LE DÉPARTEMENT DE L'AISNE.

NOTE COMPLÉMENTAIRE

Par M. MENCHE DE LOISNE, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Dans le numéro des *Annales* de Janvier 1883, j'ai rendu compte des expériences comparatives qui ont été faites dans mon service sur la qualité des matériaux d'empierrement, et qui ont mis en évidence la supériorité des pierres de Lobbes et de Monthermé.

M. Laterrade, maintenant Ingénieur en chef à Agen, a bien voulu m'adresser à ce sujet une note que je résume ainsi :

Après avoir expérimenté la pierre de Monthermé qui donnait des résultats excellents, mais dont le coût était trop élevé, M. Laterrade a exploré la vallée de la Sambre, un peu en aval de la frontière, et a trouvé des matériaux parmi lesquels les gris ou bleus rappelaient comme apparence la pierre de Monthermé. Il en fit venir deux bateaux à titre d'essai et l'usage s'en propagea.

Je me suis assuré que le souvenir de M. Laterrade est d'accord avec les inscriptions au registre de tournées (année 1867). C'est donc à lui que l'on doit l'introduction des pierres de Lobbes dans le département de l'Aisne.

Quelques ingénieurs m'ont demandé si le prix des pierres de Monthermé n'était pas susceptible de diminution. Les renseigne-

ments que je dois à l'obligeance de M. Taton, conducteur des Ponts et chaussées à Monthermé, me mettent à même de répondre.

Le prix de 7 francs le mètre cube mis en bateau ou en chemin de fer, que j'ai donné, est un élément du prix sur lequel s'exerce le rabais souvent élevé des adjudications publiques.

Dès à présent, le mètre cube mis en bateau ou en wagon pourrait être facturé à 5 francs pour une demande importante; et ce prix pourrait subir même une certaine réduction, si l'extraction prenait une extension motivant l'emploi d'un matériel perfectionné.

Le cassage, cher dans l'Aisne, où la main-d'œuvre est peu offerte, descendrait à Monthermé à 3f,70. Le mètre cube est compté dans le transport pour 1f,50.

Enfin M. Taton estime que les carrières de la région pourraient donner une production annuelle de cent mille mètres cubes pendant longtemps.

Laon, 5 mai 1883.

(N° 35)

LES PONTS ET CHAUSSÉES

DANS LA GÉNÉRALITÉ DE ROUEN AVANT 1789

Par M. GEORGES LECHALAS, Ingénieur des Ponts et Chaussées,

Le *Précis des travaux de l'Académie de Rouen*, pendant l'année 1881-1882, contient une intéressante étude de M. de Beaurepaire, archiviste du département de la Seine-Inférieure et correspondant de l'Institut, sur *les Ponts et Chaussées dans la Généralité de Rouen avant* 1789. Il nous a semblé qu'un résumé de ce travail trouverait une place toute naturelle dans nos *Annales*.

Sous Louis XIV, de belles routes furent ouvertes, mais principalement aux environs de Paris et dans un rayon d'une assez faible étendue. Aussi la Généralité de Rouen ne profita guère de ces travaux, et, à part un tronçon de route qui ne dépassait pas le pied de la côte Sainte-Catherine, tous les chemins par lesquels on accédait à Rouen annonçaient plutôt une chétive bourgade qu'une des premières cités du royaume. Mais, dès les premières années du règne de Louis XV, le développement des routes reçut une impulsion définitive. C'est ainsi que l'on vit, sous ce règne et sous le suivant, construire les deux routes de Paris à Dieppe, celles de Paris au Havre, de Paris à Caen, de Paris en Bretagne par Nonancourt, celles d'Amiens en basse Normandie, de Rouen à Orléans par Évreux, de Rouen à Dunkerque par Neufchâtel, de Rouen à Beauvais par Gournay, de Picardie en basse Normandie par Vernon, de Rouen à Caen par Pont-Audemer, sans compter vingt-quatre routes moins importantes, destinées aux communications de ville à ville, dans l'intérieur de la Généralité.

On demeure surpris que des routes si utiles se soient fait attendre si longtemps, et l'étonnement redouble, quand on constate que la Généralité de Rouen était restée en arrière, sous le rapport

de la voirie, sur toutes les Généralités du royaume. Comme preuve de ce fait, voici un passage d'une lettre adressée par Trudaine, Directeur général des Ponts et Chaussées, à l'Intendant, le 5 mai 1769 : « Je remarque, dit-il, que votre province, qui a le plus besoin de chemins par la qualité de son sol gras et par la multiplicité de ses productions, est de toutes la moins avancée. » Mais, dix ans après, le progrès est sensible. Le successeur de Trudaine, dans sa réponse au rapport de l'ingénieur en chef, le constate en ces termes : « Cette Généralité doit commencer à se ressentir de l'utilité des nouvelles communications. Je vois qu'elle commence à être bien ouverte dans toutes les parties, et elle en retirera sûrement de très grands avantages. »

Voici, du reste, quelques chiffres sur ce sujet : En 1778, on comptait déjà 151 lieues de chaussées à l'état d'entretien, et le nombre s'en éleva à 205 en 1781. En 1788, d'après l'état dressé par Lamandé, le développement des routes faites ou à faire dans la Généralité était de 738 950 toises, sur lesquelles il y en avait 368 378 en état d'entretien, 58 648 à peu de choses près en état, 15 496 enfin qui étaient ouvertes, mais sans chaussées. Il restait à faire 296 428 toises, dont la dépense était évaluée à 6 542 738 livres.

On peut donc dire que le siècle dernier a été témoin d'une vive impulsion donnée aux travaux publics. Nous allons, à la suite de M. de Beaurepaire, étudier le personnel chargé de ces travaux, les fonds mis à leur disposition, les ressources qu'ils tiraient de la corvée et les règles suivies pour le payement des terrains. Ces deux dernières questions notamment méritent d'autant mieux d'être examinées que, en l'absence de principes généraux, la manière de procéder variait suivant le temps et suivant le lieu, en sorte qu'une étude locale permet seule de connaître les faits.

Personnel. — Avant la période de grands travaux qui fait l'objet du mémoire de M. de Beaurepaire, on choisissait les ingénieurs parmi les architectes; mais la nécessité de recruter un personnel relativement nombreux et présentant toutes garanties amena à créer l'École des Ponts et Chaussées en 1747.

Vers le milieu du XVIIIe siècle, le personnel de la Généralité de Rouen, laquelle avait une étendue à peu près double de celle du département de la Seine-Inférieure, se composait d'un ingénieur et de quatre sous-inspecteurs. On ne tarda pas à l'augmenter, et l'on y adjoignit quelques élèves des Ponts et Chaussées. On comptait, en 1772, un ingénieur en chef, quatre inspecteurs et quatre sous-ingénieurs; en 1788, un ingénieur en chef, dix ingénieurs et un dessinateur.

Le traitement de l'ingénieur en chef était de 2500 livres ; ceux des ingénieurs variaient de 1 500 à 1 800 livres. A ces traitements il convient d'ajouter les gratifications que, chaque année, le Contrôleur général des finances accordait sur la proposition du Directeur général. Ces gratifications étaient habituellement, pour l'ingénieur en chef, de 1 500 livres sur les fonds des Ponts et Chaussées, et de pareille somme sur les fonds des Ports Maritimes. Les ingénieurs ordinaires obtenaient de 300 à 500 livres.

En mars 1787, l'ingénieur en chef exposait à son administration l'impossibilité où les ingénieurs se trouvaient de subvenir à leurs besoins avec des traitements aussi modiques : « Il y a, disait-il, environ quarante ans que les traitements des sous-ingénieurs sont fixés à 1 500 livres. Depuis cette époque, tout a augmenté de plus de moitié, et les appointements sont toujours les mêmes. »

Les fonctions d'ingénieur en chef furent remplies, à partir de la démission de M. Martinet en 1749, par M. Baudouin (1749-1752), par M. Dubois, plus tard inspecteur général des Ponts et Chaussées (1752-1774), par de Cessart, bien connu par ses travaux de Cherbourg (1775-1781), et enfin par Lamandé (1781-1790).

Parmi les ingénieurs, on remarque Lamblardie, qui devint, après la Révolution, directeur de l'École centrale des Travaux Publics, et, parmi les élèves, l'illustre Monge, qui fut envoyé dans la Généralité de Rouen, en 1775, avec des appointements de 80 livres par mois.

Ressources provenant de la taille. — Chaque année, la Généralité de Rouen voyait inscrire au brevet de la taille, sous le titre de *Rétablissement des ponts et chaussées des vingt pays d'Élection,* une somme relativement considérable, dont une partie seulement lui revenait, le reste étant distribué à des provinces moins riches. On lui rend 37 000 livres sur 186 081, en 1731 ; 80 000 livres sur 178 036, en 1740 ; même somme sur 197 962, en 1760 ; 96 000 livres sur 210 390, en 1773. Ces secours, qui s'éloignent tant de sa part contributive, ne sont que de 29 431 livres en 1780, et de 63 341 en 1781 ; mais ils s'élèvent à 123 000 livres en 1782, à 181 000 livres en 1783, à 215 000 livres en 1786. Ils sont de 201 970 livres en 1788.

A ces ressources venaient s'ajouter les fonds des ateliers de charité, qui furent créés dans la seconde moitié du dernier siècle, et surtout la contribution en nature que l'on désignait sous le nom de corvée et qu'il convient d'étudier avec quelque détail.

Corvée. — Tocqueville a signalé combien la corvée devint écrasante lorsque le besoin et le goût des bonnes routes se répandirent, et combien odieuse fut cette charge qui pesait sur les plus

pauvres, sur ceux qui profitaient le moins des travaux : la civilisation tourne, dit-il, contre le peuple des campagnes. Le travail de M. de Beaurepaire confirme cette appréciation.

« Il n'y avait pas plus de comparaison à établir, dit-il, entre la corvée connue et pratiquée avant Louis XV et celle que l'on imposa depuis, qu'il n'y en avait entre ces chemins bourbeux, étroits du moyen âge, que parcouraient le cheval du voyageur et la grossière charrette du paysan, et ces voies larges et roulantes du XVIII[e] siècle que sillonnaient d'élégants attelages et des postes rapides. »

Aussi les intendants et leurs subdélégués, chargés d'appliquer la corvée, ne le font qu'en gémissant; les cavaliers de la maréchaussée, requis pour prêter main forte aux ingénieurs contre les paysans mutinés ou réfractaires, ne pénètrent qu'à contre-cœur dans les chaumières de ces malheureux : pour vaincre leur répugnance, il faut employer tantôt les menaces, tantôt l'appât des gratifications. Ceux-là même qui profitaient de l'ouverture des routes n'osaient préconiser le système suivi; ainsi, le 6 janvier 1771, un riche propriétaire, le président de Crosville, écrivait à l'intendant : « Les chemins, quoique fort utiles pour le commerce, et pour vous et pour moi, lorsque nous voyageons, sont terribles à faire à corvée par un nombre d'ouvriers qui n'ont que leurs bras pour vivre, qui sont depuis plusieurs années dans la plus grande misère; par des malheureux qui, ne profitant pas de l'avantage des beaux chemins, n'ont que le mal d'y travailler gratis et y perdent souvent des terrains qui aideraient à leur subsistance. Si le ministère, messieurs les Intendants, et vous, monsieur, en particulier, voyiez l'intérieur des maisons de ceux qui sont obligés de faire ces travaux, il y en aurait bien d'exempts! »

Comment remédier à ce mal? Une augmentation des tailles aurait paru aussi insupportable que la corvée; aussi Louis XVI se décida-t-il, sur la proposition de Turgot, à faire, pour le rachat des corvées, une imposition particulière pesant sur tous les propriétaires dans la proportion de leur fortune, sans tenir compte des privilèges de la noblesse et du clergé. L'arrêt de février 1776 fut imposé aux cours souveraines de Paris dans un lit de justice; mais cet acte de vigueur fut bientôt suivi d'un acte de faiblesse, parce que la cour crut reconnaître, dans l'opposition de la haute magistrature, les signes d'une révolution prochaine. On continua donc à imposer la corvée : quelques chiffres en préciseront l'importance.

Il y eut des provinces où l'on exigea jusqu'à douze journées de

travail; mais, dans la Généralité de Rouen, on se contenta ordinairement de six jours et quelquefois de trois. Il y eut même des années où l'on supprima la corvée, par égard à la misère des paysans. Diverses circonstances aggravaient souvent le poids de la corvée : on choisissait la saison la plus favorable pour la confection des routes, et c'était celle où le cultivateur avait le plus besoin de son temps; parfois, les ateliers étaient éloignés de plusieurs lieues de la résidence des corvéieurs.

On fit, au moyen de la corvée, cinq lieues et quart de chaussées en 1768, sept lieues en 1771 et neuf en 1781. On évaluait la dépense équivalente à la corvée, en 1775, à 443 912 livres; en 1777, à 525 990 livres; en 1781, à 543 344 livres; en 1786, à 633 283 livres; en 1787, à 672 651 livres. La corvée fut, en 1777, le travail gratuit de 37 000 journaliers et de 22 000 chevaux employés pendant sept jours. Cela équivalait, estimé en argent, au quart du principal de la taille ou au neuvième de la taille, si l'on y joint les accessoires et la capitation.

Les Intendants firent tout ce qui dépendait d'eux pour adoucir la corvée, et ils s'attirèrent bien des fois les reproches des directeurs généraux des Ponts et Chaussées, jaloux de voir avancer les travaux. Les Intendants s'appliquèrent à faire accepter par les communautés la substitution à la corvée en nature de la corvée en argent. La première pesait sur l'artisan comme sur le fermier aisé; la seconde se faisait par adjudication dont le prix était réparti, au marc la livre de la taille, sur les contribuables de chaque paroisse; elle n'atteignait pas la classe pauvre. Il y avait donc deux intérêts en présence : les propriétaires l'emportèrent d'abord, dans les assemblées, par leur instruction et aussi par le nombre de leurs domestiques ou de leurs employés; mais ensuite les artisans obtinrent gain de cause, grâce à l'appui que les Intendants leur faisaient donner sous main par leurs subdélégués et par les syndics. En 1775, sur 1 289 communautés qui concoururent à l'exécution des travaux, 937 les faisaient déjà exécuter par adjudication; 352 préféraient la corvée en nature. En 1782, sur 1 763 communautés, 181 préfèrent encore celle-ci. Mais, en 1786, sur 1 832 communautés, on n'en compte plus que 70 qui conservent l'ancien système.

On voit donc que, lorsque Louis XVI, par sa déclaration du 27 juin 1787, abolit dans toute la France la corvée en nature et lui substitua une prestation pécuniaire, il ne fit que consacrer ce qui existait déjà dans la Généralité de Rouen. Cette déclaration, remarquons-le, était moins libérale que ne l'était l'édit de 1776,

car la contribution pécuniaire, qui remplaçait la corvée, était répartie sur les taillables et épargnait les privilégiés. C'était moins que ne réclamait l'opinion publique. Aussi, dès le 7 décembre 1787, l'Assemblée provinciale de la haute Normandie, bien que composée de députés des trois ordres, prit-elle un arrêté pour faire contribuer la noblesse et le clergé au rachat des corvées; elle n'admit d'exception que pour ceux qui, dans ces deux ordres, avaient moins de 1 200 livres de revenu. Mais Necker, craignant le sort de Turgot, déclara les mesures de l'Assemblée provinciale contraires aux principes subsistants, bien que conformes à la justice. La déclaration du 27 juin 1787 resta donc en vigueur jusqu'à la Révolution.

Expropriation des terrains. — La question de la corvée ne fut pas seule à soulever des difficultés et à recevoir des solutions variées : celle du payement des terrains nécessaires pour l'ouverture ou l'élargissement des routes ne fut guère moins féconde en discussions. D'abord, on ne paya aucune indemnité aux propriétaires; puis, on en accorda, mais seulement pour les maisons, les prairies et les bois. Enfin, on s'habitua peu à peu, dans la Généralité de Rouen, à indemniser les propriétaires des terres labourables. Les indemnités étaient fixées par l'intendant, sur les rapports des ingénieurs, et acquittées sur les fonds des Ponts et Chaussées; mais, comme ces fonds étaient insuffisants, les indemnités ne se payaient que fort mal, par acomptes et après des délais de dix, vingt ans quelquefois.

Les réclamations provoquées par cet état de choses amenèrent le Conseil à ordonner que, pour subvenir au payement des terrains expropriés en la Généralité de Rouen, il serait imposé, pour l'année 1773, une somme de 80 000 livres répartie sur les taillables. Mais on objecta que ceux-ci étaient déjà chargés de la confection et de l'entretien des routes, et qu'il serait équitable de faire retomber cette nouvelle imposition sur les possédant fonds qui profitaient principalement de la confection des routes. Le roi se détermina à retrancher cette imposition du brevet de la taille de 1774 et à en ordonner, par arrêt du Conseil, la répartition pendant trois ans sur tous les possédant fonds, privilégiés et non privilégiés. L'arrêt fut enregistré sans difficulté au Conseil supérieur de Rouen; mais cette imposition, fondée sur des principes de justice et d'égalité, excita les plus vives réclamations, et le recouvrement ne put s'en faire qu'avec une extrême difficulté. Ce fut bien pis quand le Parlement eut été rétabli; aussi, à l'expiration des trois ans, le Conseil d'État n'osa parler d'une prolongation qui

n'eût pas été enregistrée. Le fonds des indemnités retomba en entier sur les taillables, et cependant, par un égarement singulier de l'opinion publique, le Parlement conserva sa popularité, et le Conseil supérieur fut décrié. Le président de ce Conseil, M. de Crosne, Intendant, fit du moins ce qu'il put dans l'intérêt du peuple : il trouva le moyen, par des économies sur les fonds de casernement, d'abaisser à 40 000 livres le chiffre afférent aux indemnités dans le brevet de la taille ; mais il fit maintenir le principe de ces indemnités que Necker, à ce qu'il semble, eut un moment l'intention de sacrifier. « Je crois, monsieur, lui écrivait-il, qu'il faut tout payer, même les plus médiocres objets, parce qu'ils appartiennent à de petits propriétaires dont ils forment quelquefois toute la fortune. Il y aurait moins d'inconvénient à prendre de grandes parties de terrains au propriétaire riche, qui n'a point de besoin, sans le payer, que d'enlever au pauvre le seul morceau de terre, qui est toute sa ressource, sans l'indemniser. Les communications, qui augmentent le revenu des terres, et qui forment elles-mêmes, par cette raison, une indemnité pour les riches, ne profitent en rien au pauvre, qui a perdu le tout ou la plus grande partie de son terrain ; et c'est un motif de plus de le faire participer à l'indemnité. On ne peut pas, non plus, se dispenser de payer les riches propriétaires. Autrement, il faudrait entrer, relativement à chaque propriété, dans des discussions qui ne sont véritablement pas possibles en administration. »

L'Intendant gagna sa cause, et le principe du droit à indemnité pour le propriétaire privé de son terrain triompha définitivement dans la Généralité de Rouen.

En terminant l'étude que nous venons de résumer, M. de Beaurepaire ne peut se défendre de quelques réflexions assez tristes : les agents de cette vaste entreprise du développement des routes n'en avaient retiré, dit-il, ni gloire ni profit. Ils eurent pour récompense de faibles traitements, à peine suffisants aux besoins de la vie ; ils ne reçurent aucun témoignage de la reconnaissance publique, et leur profession comptait pour si peu, comparée aux innombrables charges judiciaires, que les Annuaires, connus sous le nom de *Tableaux de Rouen*, n'en faisaient pas même mention. M. de Beaurepaire se félicite de ce que l'Académie de Rouen, plus juste que le vulgaire, ait appelé dans son sein des ingénieurs tels que de Cessart, Lamandé, Lamblardie et Forfait (*), qui comptèrent parmi ses membres les plus distingués.

Rouen, 7 avril 1885.

(*) Ce dernier était ingénieur de la marine.

(N° 36)

BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE.

1883

OUVRAGES FRANÇAIS.

1° Mathématiques pures.

Andréef. — Sur les polygones de Poncelet; par M. Andréef, professeur à l'Université de Kharkoff. In-8, 13 p. avec fig. Paris, imp. Chaix; 4, rue Antoine-Dubois. (10 mars.)

Baehr. — Sur les intégrales d'un système d'équations différentielles linéaires du premier ordre, à coefficients constants et sans second membre, dans le cas ou l'équation caractéristique a des racines égales; par M. Baehr, professeur à l'École polytechnique de Delft. In-8, 5 p. Paris, imp. Chaix; 4, rue Antoine-Dubois. (10 mars.)

Collignon (E.). — Problème de mécanique; par M. Ed. Collignon, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées. In-8, 19 p. avec fig. Paris, imp. Chaix; 4, rue Antoine-Dubois. (10 mars.)

Collignon (E.). — Problème de géométrie; par M. Ed. Collignon, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées. In-8, 19 p. avec 9 fig. Paris, imp. Chaix; 4, rue Antoine-Dubois. (10 mars.)

Jouffret (E.). — Introduction à la théorie de l'énergie; par E. Jouffret, chef d'escadron d'artillerie, de la Société mathématique de France. In-8, 200 p. Paris, imp. et lib. Gauthier-Villars. 3f,50. (8 février.)

Journal de l'École polytechnique, publié par le conseil d'instruction de cet établissement. 51e cahier. In-4, 253 p. Paris, imp. Gauthier-Villars. 12 fr. (8 décembre.)

Laisant. — Théorème d'algèbre; par M. Laisant, député de la Loire-Inférieure, docteur ès sciences mathématiques. In-8, 7 p. Paris, imp. Chaix; 4, rue Antoine-Dubois. (10 mars.)

Maldant (E.). — Matière et force; par Eugène Maldant, ingénieur civil. In-8, 36 p. Orléans, imp. Colas; Paris, lib. Dentu.

Marie (M.). — Histoire des sciences mathématiques et physiques; par M. Maximilien Marie, répétiteur de mécanique et examinateur d'admission à l'École polytechnique. T. I : De Thalès à Diophante. In-8 carré, 295 p. avec fig. imp. et lib. Gauthiers-Villars. (4 janvier.)

Parmentier. — Nouvelles formules de quadrature; par M. le général Parmentier, du comité des fortications. In-8, 4 p. avec 1 fig. Paris, imp. Chaix; 4, rue Antoine Dubois. (10 mars.)

Salmon (G.). Traité de géométrie analytique (sections coniques), contenant un exposé des méthodes les plus importantes de la géométrie et de l'algèbre modernes; par G. Salmon, professeur à l'Université de Dublin. Ouvrage traduit de l'anglais par MM. H. Résal et V. Vaucheret. 2e *édition* française, publiée d'après la 6e édition anglaise par M. V. Vaucheret, lieutenant-colonel d'artillerie, professeur à l'École supérieure de guerre. 1er fascicule. In-8, p. 1 à 120. Paris, imp. et lib. Gauthier-Villars.

2° Mécanique. — Construction.

Audemar (H.). — Nouvelle machine à colonne d'eau, à grande vitesse et à dépense variable; par M. H. Audemar, ingénieur à Dôle (Jura). Petit in-12, 15 p. Alais, imp. Brugueirolle.

Bour (L.). — Note sur l'installation des réchauffeurs des chaudières à vapeur; par M. L. Bour, ingénieur de l'Association lyonnaise des propriétaires d'appareils à vapeur. In-8, 10 p. et planche. Lyon, imp. Storck.

Brosuis et Kock. — Le Mécanicien de chemin de fer; par MM. Brosuis et Kock, ingénieurs en chef de chemin de fer. 1 fort vol. in-8, avec 673 figures et 13 planches. Prix : 20 fr. Paris, Bernard et Cie.

Charousset et Bague. — Application de l'électricité comme transmission de force aux mines de la Péronnière, au congrès d'Alais; par MM. Charousset et Bague, ingénieurs aux mines de la Péronnière. In-8, 88 p. et 3 planches. Saint-Étienne, imp. Théolier et Cie.

Clauzel (G.). — Étude sur le rivetage, formules générales permettant de déterminer les proportions rationnelles des joints rivés, applications diverses et calculs numériques; par G. Clauzel, ingénieur des constructions navales. Un vol. gr. in-4, avec 8 tableaux et nombreuses fig. intercalées dans le texte. Prix : 15 fr. Paris, lib. Bernard et Cie.

Coffinières de Nordeck (A.). — Sonde électrique de M. A. Coffinières de Nordeck, lieutenant de vaisseau. In-8, 8 p. Paris, imp. et lib. Plon et Cie. (6 mars.)

Cornut (E.). — Études sur les pouvoirs calorifiques des houilles; par E. Cornut, ingénieur en chef de l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur du nord de la France. In-8, 28 p. et 6 tableaux. Paris, imp. Capiomont et Renault. (11 octobre.)

Craponne (P.). — D'un procédé nouveau de chauffage appliqué aux chaudières à vapeur; communication faite à la Société des sciences industrielles de Lyon, le 14 décembre 1881, par M. P. Craponne, ingénieur principal de la compagnie du gaz de Lyon. In-8, 11 p. Lyon, imp. Storck.

Canthorne Unwin (W.), professeur de mécanique au collège royal indien des ingénieurs civils. — Éléments de construction des machines, traduit de l'anglais par J. A. Bocquet, — appendice par M. H. Léauté. Paris, Gauthier-Villars, 1882.

Deny (Ed.). — Chauffage et ventilation rationnelle des écoles, habitations, etc., par M. Ed. Deny. (Mémoire ayant obtenu la médaille d'or au concours de l'Académie de Metz et au concours de la Société industrielle d'Amiens.) 1 vol. in-8 avec 2 planches : 4 fr. Paris, Baudry, éditeur.

Du Moncel (T.) et F. Geraldy. — L'électricité comme force motrice; par le comte Du Moncel, de l'Institut, et M. Frank Geraldy, ingénieur des Ponts et Chaussées. In-18 jésus, 308 p. avec 112 fig. Paris, imp. Lahure; lib. Hachette et Cie. 2f,25 (14 mars.)

Grandvoinnet (J. A.). — Traité élémentaire des constructions rurales; par J. A. Grandvoinnet, professeur de génie rural à l'Institut national agronomique. 2 vol. In-18 jésus. T. I : Principes généraux de construction, XI-202 p. avec 172 figures; t. II : Bâtiments ruraux, VIII-164 p. avec 134 figures; Mesnil, imp. Firmin-Didot; Paris, lib. agricole de la Maison rustique, 2f,50 les 2 volumes.

Herrmann (G.). — Statique graphique des mécanismes pour la détermination du rendement des machines et des efforts subis par leurs organes; par Gustave Herrmann, professeur à l'École

polytechnique d'Aix-la-Chapelle. Traduction française par MM. W. Schmitz et P. Castin, ingénieurs civils. In-4, 84 p. et 8 pl. Paris, imp. et lib. Bernard et Cie. (6 octobre.).

HIRSCH. — Rapport sur les machines et les appareils de la mécanique générale à l'Exposition universelle internationale de 1878, à Paris; par M. Hirsch, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées. In-8, 609 p. Paris, imp. nationale. (22 mars.)

LALBIN (E.). — Etude sur les appareils centrifuges; par E. Lalbin, ingénieur civil. In-8, 14 p. avec fig. Paris, imp. et lib. Chaix.

LASTEYRIE (R. de). — Documents inédits sur la construction du pont Neuf, publiés par R. de Lasteyrie. In-8, 98 p. Nogent-le-Rotrou, imp. Daupley-Gouverneur.

LEFEBVRE (H.). — Tarif de cubage des poutrelles renfermant tous les cubes au millistère de 1 en 1 et de 2 en 2 centimètres d'équarrissage, et toutes les longueurs de 10 en 10 centimètres jusqu'à 20 mètres; par Henri Lefebvre (du Havre), expert en bois du Nord. In-8, 77 p. Le Havre, imp. Vattier; l'auteur, 9, rue de Fontenelle; Paris, à l'*Écho forestier*.

LELOUTRE (G.). — Recherches expérimentales et analytique sur les machines à vapeur : Détermination de l'eau entraînée par une méthode thermométrique; par G. Leloutre, ingénieur civil. In-8, 63 pages. Nancy, imp. Berger-Levrault et Cie.

LENCAUCHEZ (A.). — Mémoire sur la production de la vapeur en général comme origine de force motrice; par M. A. Lencauchez, ingénieur à Paris. In-12, 40 p. Alais, imp. Brugueirolle.

LENCAUCHEZ (A.). — Mémoire sur l'emploi des combustibles et sur le chauffage de haute température; par M. A. Lencauchez, ingénieur à Paris. In-12, 50 p. Alais, imp. Brugueirolle.

MARCHAL (M.). L'action de déformation du choc comparée à celle d'un effort continu; par M. M. Marchal, ingénieur de la marine. Une brochure in-8 de 37 pages avec une planche, 2 fr. Paris, lib. Berger-Levrault.

MAURICE MAURER. — Statique graphique; par Maurice Maurer. 1 vol. gr. in-8 et 1 atlas in-4 de 19 pl. Paris, J. Baudry, éditeur.

MOESSARD (P.). — Topographie et géodésie, cours de Saint-Cyr; par P. Moëssard, capitaine du génie, professeur de topographie. In-8°, XII-399 p. avec fig. Paris, lib. Delagrave.

PICOU (R. V.). — Note sur la sensibilité des appareils à vapeur; par R. V. Picou, ingénieur des arts et manufactures. In-8, 7 p. Paris, imp. Michels. (12 décembre.)

POILLON (L.). — Le 1er fascicule du 1er volume du traité théorique et pratique, pompes et machines à élever les eaux; par L. Poillon,

ingénieur des arts et manufactures, ancien constructeur de machines à vapeur, ancien professeur à l'institut industriel du nord de la France. — L'ensemble de l'ouvrage comprendra 2 vol. gr. in-8 raisin de 400 à 500 p. avec deux atlas contenant de nombreuses pl. hors texte. L'ouvrage paraîtra en 4 fascicules. Prix de la souscription à l'ouvrage complet, 35 fr. Paris, imp. Bernard et Cie.

Pouget (L.). — Chronotachymètre Pouget, appareil contrôleur-enregistreur de la marche des locomotives; par L. Pouget, inspecteur général honoraire des postes et des télégraphes. In-8, 7 p. Montpellier, imp. Grollier et fils.

Prud'homme (L.). — Cours pratique de construction; par L. Prud'homme. 3e *édition*, revue et augmentée. 2 vol. in-8, avec 350 fig. dans le texte. — Prix 16 fr. Paris, lib. Baudry.

Cet ouvrage s'adresse aux ingénieurs et conducteurs des Ponts et Chaussées et des chemins de fer, aux agents voyers, aux architectes, aux entrepreneurs de travaux publics, aux ingénieurs des mines, aux garde-mines, aux officiers et gardes du génie et de l'artillerie, aux inspecteurs et gardes généraux des forêts.

Rossigneux. — Note sur la transmission du travail par l'électricité; par M. Rossigneux, ingénieur divisionnaire aux houillères de Saint-Étienne. In-8, 40 p. avec fig. et 2 pl. Saint-Étienne, imp. Théolier et Cie.

Turgan. — Établissement Arbey, machines à bois; par Turgan. In-4, 24 p. avec fig. Paris, lib. C. Lévy; Librairie nouvelle. 60 c. (17 mars.)

Vasselon (F.). — Carnet du conducteur de travaux. Recueil de formules, tables, renseignements pratiques et documents concernant la construction, à l'usage des ingénieurs, conducteurs, mécaniciens, entrepreneurs, etc.; par F. Vasselon, ingénieur civil. 6e *édition*. In-12, 296 p. avec 350 fig. Paris, imp. Lefebvre et fils.

With (Émile). — Le mécanicien de chemins de fer; par Émile With, ingénieur civil.

Division de l'ouvrage. — Chapit. 1. Construction de la chaudière de locomotive. — 2. Les accessoires de la chaudière de locomotive. — 3. Perfectionnement de la chaudière. — 4. Machinerie. — 5. Le véhicule de la locomotive. — 6. Le tender et la locomotive-tender. — 7. Le graissage. — 8. Les freins. — 9. Les signaux. — 10. Les voitures et les wagons. — 11. La voie. — 12. Les appareils de transbordement des véhicules d'une voie sur une autre voie. —

13. Les bâtiments et accessoires destinés aux locomotives. — 14. Le développement de la construction du matériel roulant et de la voie. — 15. Le travail d'une locomotive. — 16. Les fonctions du mécanicien. — 17. Aprendice.

Un vol. in-8 de 400 p. avec fig. intercalées dans le texte et 13 pl. comprenant des ensembles, coupes et détails des principaux types de machines. Prix 20 fr. Paris, lib. Bernard et Cie.

WITZ (Aimé). — Histoire des moteurs à gaz ; par M. Aimé Witz, ingénieur des arts et manufactures, docteur ès sciences. Br. in-8. Prix 2 fr. Paris, Bernard et Cie.

3° Navigation maritime et intérieure.

ALLARD (E.). — Mémoire sur la portée des sons et sur les caractères à attribuer aux signaux sonores ; par M. E. Allard, inspecteur général des Ponts et Chaussées. In-4, II-50 p. et 1 pl. de fig. Paris, imp. nationale. (16 novembre.)

BELGRAND. — Le tome IV (eaux nouvelles) des Travaux souterrains de Paris ; par M. Belgrand, directeur des eaux et égouts de la ville de Paris, membre de l'Institut. Un beau volume gr. in-8 jésus avec vignettes et atlas in-f° de 45 grandes pl. 55 fr.

L'ouvrage des Travaux souterrains de Paris sera complété prochainement par un tome V (égouts), du prix de 45 fr.

Prix de l'ouvrage complet (T. I à V) 240 fr. — Les tomes I à IV actuellement parus 195 fr. Paris, lib. Dunod.

Commission supérieure pour l'examen du projet de mer intérieure dans le sud de l'Algérie et de la Tunisie, présenté par le commandant Roudaire. 1882. In-4, 548 p. et carte du bassin des Chotts, dressée en 1880 par le commandant Roudaire. Paris. imp. nationale. (16 novembre.)

Délimitation de la mer à l'embouchure de la Seine. Une br. in-8 de 67 p. avec une pl. 3 fr. Paris, lib. Berger-Levrault.

GAUSSIN et HATT. — Annuaire des marées des côtes de France pour 1883 ; par MM. Gaussin, ingénieur hydrographe en chef, et Hatt, ingénieur de la marine. In-18. Prix 1 fr.

LEGER (A.). — Les canaux dérivés du Rhône ; un projet plus économique ; par A. Leger, ingénieur des arts et manufactures. In-8, 33 p. avec tableaux. Lyon, imp. Storck.

LENTHÉRIC (C.). — Les villes mortes du golfe de Lyon : Illiberris, Ruscino, Narbon, Agde, Maguelone, Aiguesmortes, Arles, les

Saintes-Maries ; par Charles Lenthéric, ingénieur des Ponts et Chaussées. 4e *édition*. In-18 jésus, 528 p. avec 15 cartes et plans. Paris, imp. et lib. Plon et Cie. (17 février.)

MOREAUX (F.). — Recherche du meilleur mode de navigation sur le Rhône, précédée de considérations sur la résistance au mouvement des coques de bateaux en mer, dans les rivières et dans les canaux; par F. Moreaux, ingénieur civil, administrateur de la compagnie de Fives-Lille et des hauts fourneaux, forges et aciéries de la marine et des chemins de fer. 1 vol. in-4, avec fig. dans le texte, 12 fr. Paris, J. Baudry, éditeur.

Notice sur le phare électrique de Planier (Bouches-du-Rhône). In-8, 40 p. Paris, imp. nationale. (2 avril.)

Notice sur les endiguements et polders de la baie du Mont-Saint-Michel. In-8, 36 p. Paris, imp. nationale. (20 mars.)

PARIS (E.). — Le musée de marine du Louvre. Histoire, description, construction, représentation, statistique des navires à rames et à voiles d'après les modèles et les dessins des galeries du musée du Louvre; par Edmond Paris, vice-amiral, membre de l'Institut, conservateur au musée du Louvre. In-fo, VIII-156 p. avec 60 pl. phototypiques inaltérables et 200 vig. Paris, imp. Chamerot.

PLOCQ et LAROCHE. — Exploitation des ports (organisation, outillage et réglementation), étude sur les principaux ports de commerce de l'Europe septentrionale; par M. Plocq, inspecteur général des Ponts et Chaussées, et M. Laroche, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées. Publié par ordre de M. le Ministre des Travaux Publics. Mission accomplie en 1878. In-4, 399 p. et atlas de 15 pl. Paris, imp. nationale. (14 novembre.)

POITOU-DUPLESSY. — La mer des Chotts ou mer intérieure d'Algérie ; par le docteur Poitou-Duplessy, médecin principal de la marine. (Conférence faite à la Société bretonne de géographie de Lorient dans l'assemblée générale du 11 mai 1882.) In-8, 16 p. Lorient, imp. et lib. Chamaillard.

PREIGNE (DE). — Mémoire destiné à élucider la question relative à l'utilisation des eaux du Rhône, avec une carte du tracé ; par M. le marquis de Preigne, ancien député, l'un des concessionnaires du canal du Rhône à Nîmes et à la mer. Prolongation projetée jusqu'à Béziers. In-8, 52 p. et carte. Paris, imp. Alcan-Lévy. (10 mars.)

Recueil de renseignements sur les voies navigables de la Belgique. Tableaux descriptifs. — Notices. — Règlements, 2 vol. gr. in-8, 1880, 17f,50. Bruxelles, lib. J. Decq.

SEYRIG (T.). — Les phares flottants ; par M. T. Seyrig. In-8, 7 p. et 2 pl. Paris, imp. Chaix ; 6, rue de la Chaussée-d'Antin. (16 mars.)

VAUTHIER (L. L.). — Outillage maritime de la France, étude sur les ports intérieurs, Bordeaux, Nantes, Rouen ; par L. L. Vauthier, ingénieur des Ponts et Chaussées, du conseil municipal de Paris et du conseil général de la Seine. In-8, 77 p. Paris, imp. et lib. Chaix ; Lib. moderne. 2 fr. (17 octobre.)

VIAL (P.). — Port du Havre, déposition lue à l'enquête nautique ; par M. Paulin Vial. In-8, 12 p. Le Havre. imp. Santallier.

4° Chemins de fer.

AUSSIGNY (L. d'). — Notice sur les chemins de fer à voie étroite dans le département de l'Indre ; par Lionel d'Aussigny. In-8, 19 p. et carte. Issoudun, imp. Gaignault.

CAVAIGNAC (G.). — L'État et les tarifs des chemins de fer ; par G. Cavaignac, député, ingénieur des Ponts et Chaussées. In-8, 47 p. Paris, imp. et lib. Gauthier-Villars. (27 décembre.)

CHAUVAC DE LA PLACE. — Nouvelles tables pour le tracé des courbes de raccordement en arc de cercle (chemins de fer, canaux, routes et chemins), calculées par Chauvac de La Place, chef de section aux chemins de fer de l'Est. 3e *édition*. In-18 jésus, 366 p. avec tableaux et planches. Nancy, imp. Collin ; Paris, lib. Baudry. 5 fr.

COLLIGNON (C.). — Les voies ferrées des ports et la loi du 11 juin 1880 sur les tramways ; par M. Ch. Collignon, ancien conseiller d'État. In-8, 20 p. Paris, imp. Ve Ethiou-Pérou. (23 décembre.)

FOUSSET (A.). — L'Algérie et les chemins de fer à voie étroite, programme rationnel du réseau algérien ; par M. A. Fousset. In-8, 94 p. et tableau. Paris, impr. Capiomont et Renault. (13 décembre.)

FRANCQ. — Communication de M. Francq, à la Société des ingénieurs civils, sur la traction des chemins de fer métropolitains. (6 octobre 1882.) In-8, 11 p. Paris, imp. Capiomont et Renault. (16 novembre.)

HAAG (P.). — Le Métropolitain de Paris et l'élargissement de la rue Montmartre ; par Paul Haag. In-4, 20 p. et 2 plans. Saint-Germain, imp. Bardin et Cie. Paris, lib. Lemerre. 3 fr., papier teinté.

LAVOINNE (E.) et E. PONTZEN. — Les chemins de fer en Amérique; par E. Lavoinne, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, et E. Pontzen, ingénieur. T. II : Exploitation, chemins de fer à voie étroite et tramways. Texte et atlas. In-8. 665 p. et atlas. In-4 oblong de 38 planches. Paris, lib. Dunod. (13 décembre.)

LAVOLLÉE (C.). — Les chemins de fer et le budget; par M. C. Lavollée. In-8, 32 p. Paris, imp. Quantin. (15 mars.)

LOMMEL. — Examen critique des nouveaux essais de tracé pour la rampe d'accès méridionale du tunnel alpin du Simplon; par Lommel, ingénieur, ancien directeur de la construction et de l'exploitation de la Compagnie du chemin de fer du Simplon. 1 vol. grand in-8, avec une carte et une planche. 3f,50. Paris, J. Baudry, éditeur.

MALO (L.). — Les chemins de fer économiques dans l'Ain; par Léon Malo. In-8, 12 p. Lyon, imp. Bellon.

MALO (A.). — La sécurité dans les chemins de fer; par Léon Malo, ingénieur. 2e *édition*. In-18 jésus, XI-321 p. Paris, lib. Dunod.

Percement du Simplon. — Mémoire technique, publié par le comité du Simplon. 1 vol. in-8 et atlas in-folio, contenant 4 grandes cartes et 4 planches. 12 fr. Paris, J. Baudry, éditeur.

5° Législation, Administration, Économie politique.

Album du développement progressif du réseau des routes et des voies navigables de la Belgique, 1830 à 1880, contenant 13 cartes et un tableau résumant les faits principaux de l'histoire des des voies navigables, depuis 1830 jusqu'en 1880. 1 vol. in-4. 6 fr. Bruxelles, J. Decq, libraire.

AUCOC (L.). — Les étangs salés des bords de la mer Méditerranée et leur condition légale; par M. Léon Aucoc, membre de l'Institut. In-8, 30 p. Orléans, imp. Colas. Paris, lib. Dunod.

BAUDRILLART (H.). — Philosophie de l'économie politique. Des rapports de l'économie politique et de la morale; par M. H. Baudrillart, de l'Institut, ancien professeur d'économie politique au Collège de France. 2e *édition*, revue et considérablement augmentée. In-8, XII-499 p. Paris, lib. Guillaumin et Cie. 9 fr. (19 mars.)

BERTRAND. — Lois sur la police du roulage et des messageries publiques annotées et commentées; par M. Bertrand, substitut

du procureur de la République à Tours, à l'usage de la gendarmerie. In-32, 48 p. Limoges, imp. et lib. Charles Lavauzelle, Paris, même maison. 30 centimes.

Féraud-Giraud (L. J. D.). — Code des transports de marchandises et de voyageurs par chemins de fer, ou Manuel pratique de législation, d'administration, de doctrine et de jurisprudence concernant les transports par les voies ferrées; par L. J. D. Féraud-Giraud, conseiller à la Cour de cassation. 3 vol. in-18. T. I et II (transports de marchandises); t. III (transports de voyageurs). T. I, 430 p.; t. II, 323 p.; t. III, 388 p. Paris, lib. Pedone-Lauriel. 12 fr.

Guillaume (E.). — Traité pratique de la voirie vicinale, ou exposé de la législation et de la jurisprudence sur les chemins vicinaux; par Eug. Guillaume, sous-directeur au Ministère de l'Intérieur, chargé du bureau de la voirie urbaine et vicinale. 7e *édition*. In-18 jésus, 336 p. Paris, imp. et lib. Paul Dupont. 3f,50. (1er mars.)

Hélène (M.). — Les travaux publics au XIXe siècle. Les nouvelles routes du globe; par Maxime Hélène, directeur de la Société continentale de glycérines et dynamites, etc.; avec une lettre de M. Ferdinand de Lesseps. (Canaux isthmiques et routes souterraines : Suez, Panama, Corinthe, Malacca, Saint-Gothard, mont Cenis, Alberg, Simplon, mont Blanc, Pyrénées, le tunnel sous-marin du Pas-de-Calais, le canal maritime de Gabès (mer d'Algérie), les routes de la pensée.) In-8, 320 p. avec 92 grav. et 4 pl. Paris, lib. G. Masson.

Lahaye (E.). — De l'unification des tarifs de chemins de fer, leur égalité pour tous; par Eugène Lahaye. In-8, 40 p. Paris, lib. Dentu. 1 fr. (3 février.)

Lalande (H. de). — De la prescription de l'action en responsabilité contre les architectes et entrepreneurs; par H. de Lalande, docteur en droit, avocat à la cour d'appel de Paris. In-8, 23 p. Paris, lib. Thorin.

Lamairesse. — Du régime légal des eaux en Algérie. Les eaux du domaine public doivent être de la part de l'administration l'objet de la même viligance en Algérie qu'en France; par M. Lamairesse. In-8, 47 p. Alger, imp. Fontana et Cie.

Lesguillier (J.). — La question des chemins de fer et M. Léon Say; par J. Lesguillier, député de l'Aisne, ancien sous-secrétaire d'État des Travaux Publics. Grand in-8 à 2 col., 15 pages. Château-Thierry, imp. de *l'Écho républicain de l'Aisne*.

Machines à vapeur marines, ordonnance royale du 17 janvier 1846,

relative aux bateaux à vapeur qui naviguent sur mer. Instruction ministérielle du 25 juin 1846 sur les mesures de précautions habituelles à observer dans l'emploi des appareils à vapeur placés à bord de bateaux qui naviguent sur mer. Circulaire du 6 juin 1846. Circulaire du Ministre des Travaux Publics aux préfets du 10 août 1881. In-8, 37 p. Paris, lib. Challamel aîné.

Noel (O.). — Le réseau de l'État et le budget; par Octave Noël. In-8, 20 p. Paris, imp. Hennuyer; aux bureaux de la *Revue britannique*. (28 février.)

Perriquet (E.). — Traité théorique et pratique des travaux publics, comprenant les règles en matière de marchés, travaux en régie, concessions de chemins de fer, canaux, ponts, marais, dommages, etc.; par E. Perriquet, avocat au Conseil d'État et à la Cour de cassation. 2 vol. in-8. T. I, VIII-523 p.; t. II, 594 p. Paris, lib. Marchal, Billard et Cie. 16 fr. (29 décembre.)

Ramel (de). — *Revue du contentieux des travaux publics du bâtiment et des marchés des fournitures*, fondée par Fernand de Ramel, docteur et droit, avocat au Conseil d'État et à la Cour de cassation. Lib. Rousseau.

Rivière (H. F.), F. Hélie et Pont. — Lois usuelles, décrets, ordonnances et avis du Conseil d'État dans l'ordre chronologique, annotés des arrêts de la Cour de cassation et des circulaires ministérielles, avec une table alphabétique de concordance; par H. F. Rivière, docteur en droit, conseiller à la Cour de cassation. Avec le concours de MM. Faustin Hélie, vice-président du Conseil d'État, et Paul Pont, conseiller à la Cour de cassation. 10e *édition*, revue, corrigée et augmentée. Petit in-16, à 2 col., 850 p. Corbeil, imp. Crété. Paris, lib. Chevalier-Marescq.

Van der Straten-Ponthoz. — Coup d'œil sur la propriété privée des rivières et ruisseaux non navigables et non flottables, prises d'eau, aqueduc, etc., etc. Code civil, lois, arrêts, projets de 1669 à 1875; par le comte Van der Straten-Ponthoz, membre du conseil supérieur d'agriculture, vice-président de la Société centrale d'agriculture de Belgique, etc., etc. 1re partie. 1 vol. in-4. 1876, Bruxelles, J. Decq, libraire.

6° Physique. — Météorologie. — Géologie. — Minéralogie.

Allard (E.). — Renseignements météorologiques sur le littoral de la France; par M. E. Allard, inspecteur général des Ponts et Chaussées, directeur du service central des phares et balises.

Publiés par ordre de M. le Ministre des Travaux Publics. In-4, II-40 p. et 4 planches. Paris, imp. nationale. (10 avril.)

Baehr. — Question d'optique; par M. Baehr, professeur à l'École polytechnique de Delft. In-8, 7 p. avec fig. Paris, imp. Chaix; 4, rue Antoine-Dubois. (10 mars.)

Braconnier (M. A.). — Description géologique et agronomique des terrains de Meurthe-et-Moselle; par M. A. Braconnier, ingénieur du corps des Mines. In-8, 444 p. avec 264 fig. Paris, lib. Savy.

Brard. — Sur un nouveau système de générateurs électriques; par le docteur Brard, de la Rochelle. In-8, 9 p. Paris, imp. Chaix; 4, rue Antoine-Dubois. (4 avril.)

Briart (Alp.). — Principes élémentaires de paléontologie; par Alphonse Briart. 1 vol in-12, avec 227 figures dans le texte. 6 fr. Paris, Baudry, éditeur.

Brillouin (M.). — Comparaison des cofficients d'induction; par M. Marcel Brillouin, docteur ès sciences physiques. In-4, 93 p. avec fig. Paris, imp. et lib. Gauthier-Villars. (20 juillet.)

Crova (A.). — Rapport sur les expériences faites à Montpellier pendant l'année 1881 par la commission des appareils solaires; par A. Crova, professeur à la faculté des sciences de Montpellier. In-4, 44 p. avec tableaux. Montpellier, imp. Boehm et fils.

Czyszkowski (S.). — Exploration géologique et industrielle des régions ferrifères de l'île d'Elbe (Italie); par M. Stéphen Czyszkowski, ingénieur civil des Mines. (juillet 1882.) In-8, 87 p. Alais, imp. Martin.

Dana (J. D.). — Manuel du géologue; par J. D. Dana. Traduit et adapté de l'anglais par W. Houtlet. In-18 jésus, 300 p. avec 363 fig. Paris, imp. Gauthier-Villars; lib. Hetzel et Cie. 4 fr. (31 mars.)

Debrun (E.). — Nouvelle balance électro-dynamique; par M. E. Debrun, professeur de physique. In-8, 3 p. avec 1 fig. Paris, imp. Chaix; 4, rue Antoine-Dubois. (10 mars.)

Everett (J. D.). — Unités et constantes physiques; par J. D. Everett, M. A., D. C. L., F. R. S., F. R. S. E., professeur de philosophie naturelle au Queen's college, Belfast. Traduit de l'anglais par Jules Raynaud, docteur ès sciences, professeur à l'École supérieur de télégraphie, avec le concours de L. Thevenin, G. B. de La Touanne et E. Massin, sous-ingénieurs des télégraphes. In-8, XVI-200 p. Paris. imp. et lib. Gauthier-Villars. 4 fr. (8 décembre.)

Haton de La Goupillière. — Rapport présenté par M. Haton de

La Goupillière, du conseil de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, au nom du comité des arts mécaniques, le 14 avril 1882, sur les anémomètres enregistreurs de M. Eugène Bourdon. In-4, 13 pages avec 13 fig. Paris, imp. Tremblay. (9 décembre.)

Lapparent (A. de). — Traité de géologie; par A. de Lapparent, ancien ingénieur au corps des Mines, professeur. In-8, XVI-1280 p. avec 610 fig. Paris, lib. Savy. 24 fr. (14 décembre.)

Lapparent (A. de). — Le pays de Bray; par A. de Lapparent, ingénieur au corps des Mines. In-4, 187 p. avec 6 fig. et 4 cartes. Paris, imp. Quantin. (1879.) (31 janvier.)

Leenhardt (F.). — Étude géologique de la région du mont Ventoux; par F. Leenhardt, docteur ès sciences, chargé d'un cours de sciences et de philosophie naturelles à la faculté de théologie protestante de Montauban. In-4, 274 p. avec 4 planches découpées, 1 carte et fig. Paris. lib. G. Masson.

Malapert (E.). — Dimensions des unités électriques en fonctions des unités fondamentales. Centimètre, gramme, seconde; par E. Malapert, lieutenant de vaisseau. Une brochure in-8 de 68 pages. 2f,50. Paris, lib. Berger-Levrault.

Mourlon (Charles). — Les téléphones usuels transmetteurs et récepteurs. Bell, Edison, Hugues, Ader, Blake, Crossley, Gower, etc., etc.; par Charles Mourlon. Téléphones, — microphones, — plans et devis d'installation des appareils les plus en usage. 1883. Un volume in-8 avec figures et planches. Prix: 2 fr.

Renault (B.). Cours de botanique fossile fait au muséum d'histoire naturelle par M. B. Renault, docteur ès sciences physiques et naturelles, 3e année : Fougères. In-8, 322 pages et 36 planches. Paris, lib. G. Masson. (9 mars.)

Swan (J. W.). — Éclairage électrique, conférence de M. J. W. Swan, devant les membres de la Société littéraire et philosophique de Newcastle. Traduit de l'anglais par M. P. Gaillet. In-8, 28 p. Lille, imp. Danel.

7° Agriculture. — Irrigations. — Sujets divers.

Babut du Marès. — Le Sewage, eaux d'égout, son utilisation et son épuration; par Babut du Marès. 1 vol. in-8. 5 fr. Paris J. Baudry, éditeur.

Brunfaut (J.). — Hygiène publique. Les odeurs de Paris; par

Jules Brunfaut, ingénieur civil. 2e *édition*. In-8, 420 p. avec fig. Paris, lib. Ve Lefèvre.

CAHEN (E.). Notice sur les sources artificielles; par Édouard Cahen, directeur du *Journal des travaux publics*. Moyen de se procurer partout de l'eau alimentaire de qualité parfaite et en quantité illimitée par le système Rouby. In-18, 47 p. Paris, imp. Schlæber; l'auteur, 35, rue Le Peletier. (24 novembre.)

DELATTRE (C.). — Étude sur les gisements français de phosphate de chaux; note sur la décomposition du phosphate bicalcique par l'eau; par Charles Delattre, pharmacien. In-8, 80 p. Paris, imp. Davy. (20 décembre.)

DUPONCHEL (A.). — Fertilisation des Landes. Notes en réponse au rapport présenté à la commission permanente d'hydraulique agricole; par A. Duponchel. In-8. 15 p. Montpellier, imp. Boehm et fils.

DURAND-CLAYE (A.). — Réponse à l'article publié dans la *Revue des Deux-Mondes*, par M. Aubry-Vitet, sur la question des égouts de Paris; rapport de M. A. Durand-Claye, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées. In-8, 37 p. Paris, imp. et lib. Chaix. (22 novembre.)

DURAND-CLAYE (A.). — Vidanges et égouts, communication de M. A. Durand-Claye, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées. au congrès international d'hygiène de Genève. (1882.) In-8, 29 p. Paris, imp. et lib. Chaix. (18 novembre.)

DUVERDY (C.). — Des irrigations à l'eau d'égout : Paris-Berlin; par Ch. Duverdy, de la Société des agriculteurs de France. In-4, 20 p. Saint-Germain, imp. Bardin et Cie.

GAILLET et HUET. — Épuration des eaux de vidange des fabriques, aves utilisation des résidus; par MM. Gaillet et Huet, ingénieurs à Lille. Première et seconde parties. Épuration des eaux des lavages de laine. In-8, 48 p. et planche. Lille, imp. Danel.

GUERLIN DE GUER. — Les Établissements insalubres. L'Industrie et l'Hygiène; par E. Guerlin de Guer, chef de division à la préfecture du Calvados. Une brochure in-8 de 43 pages. 1f,50. Berger-Levrault.

JOURNAULT (L.). — Les égouts de Paris et leur déversement dans la forêt de Saint-Germain; par M. Léon Journault, député de Seine-et-Oise, président d'honneur du comité de la défense de la forêt de Saint-Germain. In-8, 64 p. Saint-Germain, imp. Bardin et Cie.

MICHAUD (P.). — Note sur la filtration naturelle, communication faite à la Société des sciences industrielles de Lyon, le 14 dé-

cembre 1881; par M. P. Michaud, ingénieur des Ponts et Chaussées. In-8, 23 pages et planche. Lyon, imp. Storck.

MIOTAT (E.). — Assainissement de Paris, suppression complète de la vidange, le système diviseur appliqué à l'égout; par Eugène Miotat, architecte, commissaire voyer auxiliaire de la ville de Paris. In-8, 45 p. avec fig. Paris, lib. Ducher et Cie. (19 décembre.)

PICHARD (P.). — Constitution physique et chimique des terres végétales : Méthode d'analyse sommaire particulièrement applicable aux termes de vignobles; par P. Pichard, directeur de la station agronomique de Vaucluse. In-8, 23 p. Avignon, imp. et lib. Seguin frères.

SOMZÉE. — Destruction des gaz méphitiques des égouts. Projet de M. l'ingénieur Somzée. Broch. in-8. 1883. Bruxelles, J. Decq, libraire.

VILLARD. — La question des eaux à Lyon, de sa solution technique et financière dans le présent et l'avenir, l'eau à bon marché ; le projet Villard. In-8, 136 p. et 2 pl. Lyon, imp. Waltener et Cie.

TABLES

DES MÉMOIRES ET DOCUMENTS

PUBLIÉS

DURANT LE 1er SEMESTRE DE 1883.

PREMIÈRE TABLE.

RÉCAPITULATION DES ARTICLES PAR ORDRE D'INSERTION.

DEUXIÈME TABLE.

ANALYSE DES MATIÈRES PAR ORDRE ALPHABÉTIQUE.

E

F

G

H

I

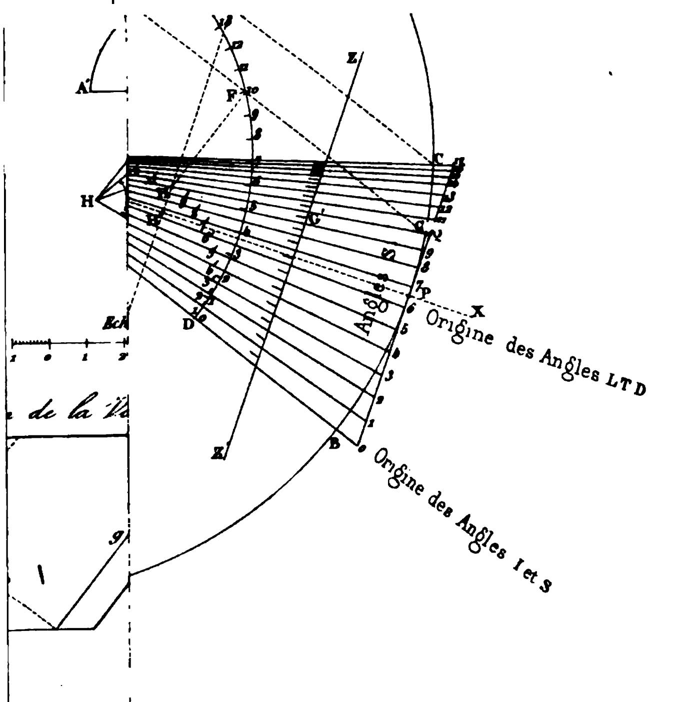
J

L

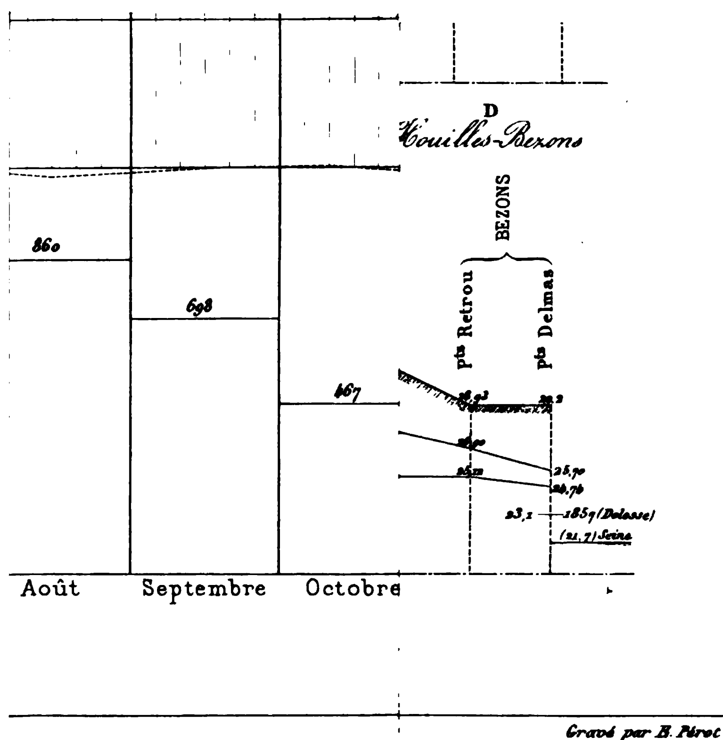
M

N

4485. — Paris. Imp. A. L. Guillot, 7, rue des Canettes.



Gravé par B. Pérot



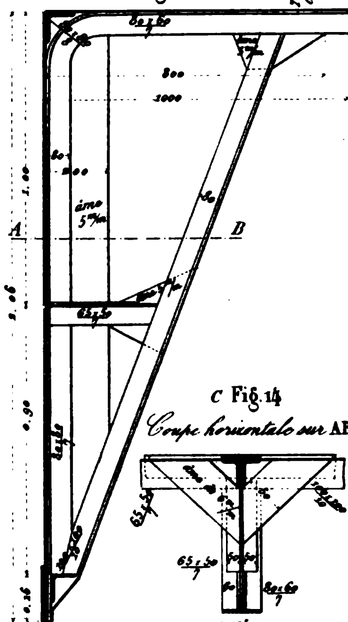
Gravé par B. Pérot

Contrefiche

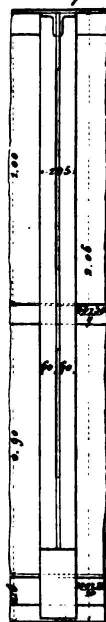
d'une p

Élévation

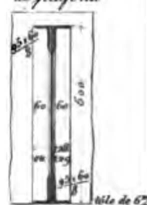
C Fig. 11 Élévation



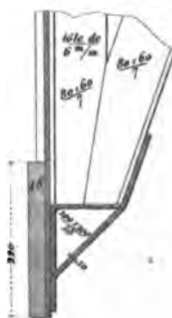
C Fig. 12 Vue de face



C Fig. 13 Coupe d'une poutre de plafond



E Fig. 15 Détail du couteau



Echelle E de 0^m10 p. 1^m

0^m003 p. 1^m

0^m04 p. 1^m

0^m01 p. 1^m

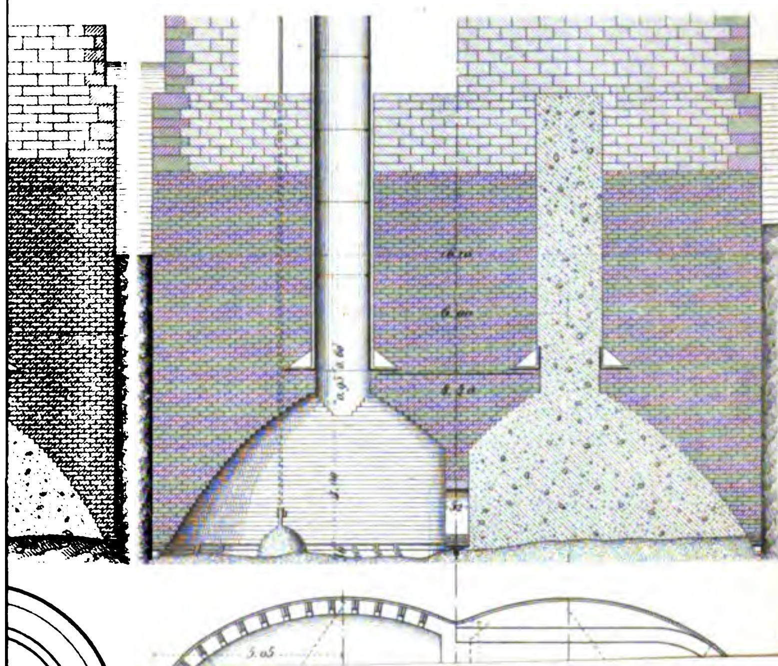
20 30 40 50 60 70 80 90 1^m

Gravé par E Pé-

e Hohnsdorf sur l'Elbe 18 76/77

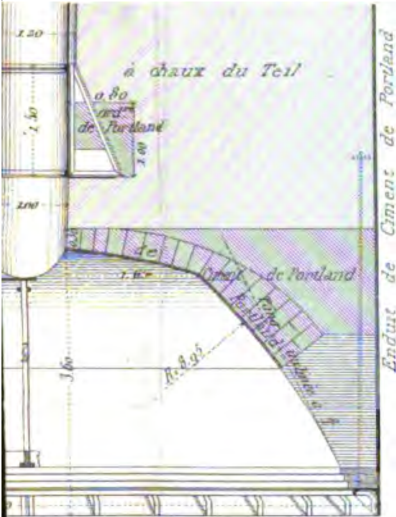
à toutes les

Fig. 3. *Fondations des 2 dernières piles en rivière.*



Chambre d'une pile

...upe en long



...emi Plan

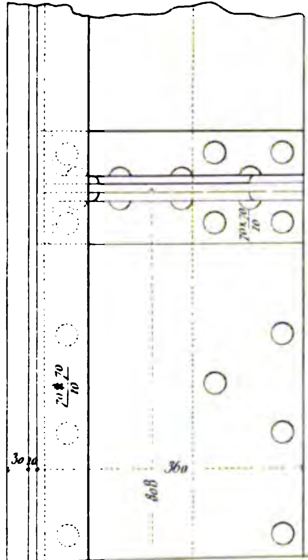
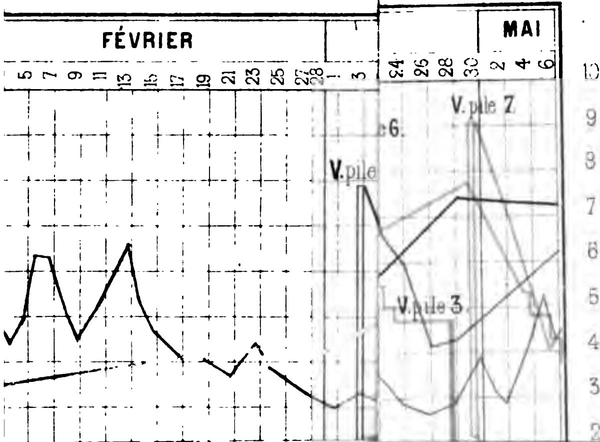


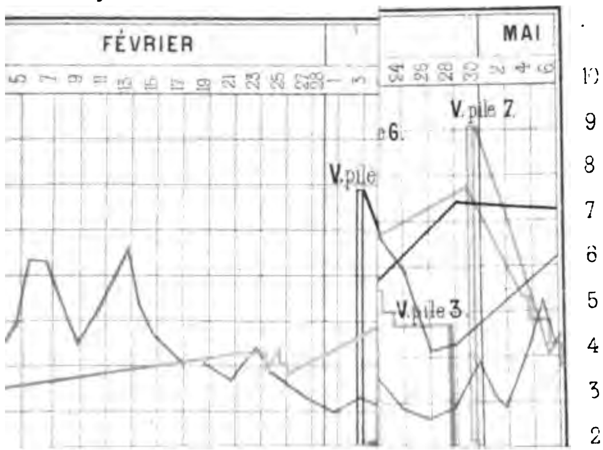
Fig. 10. *Élévation*



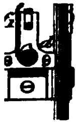
FONÇAGES 1883 Pl. 7

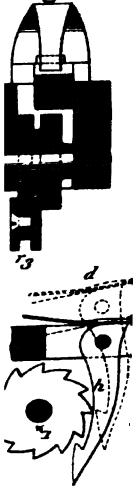


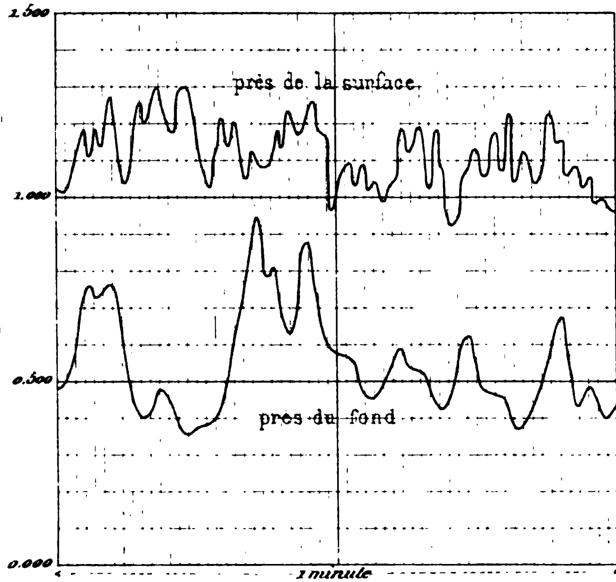
FONÇAGES 1883 Pl.7





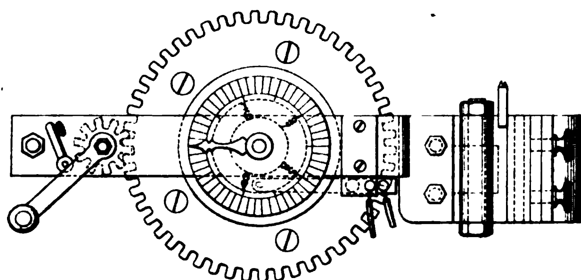






Gravé par E. Pérot.

C Fig. 14.



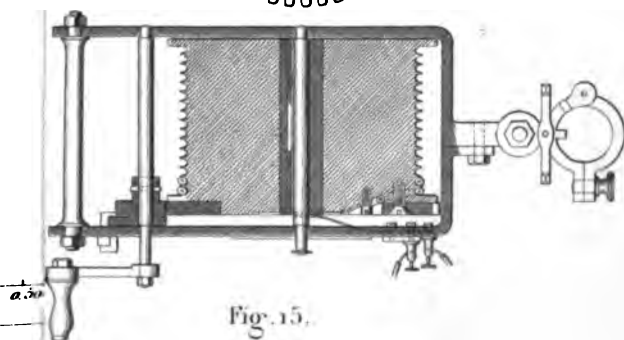
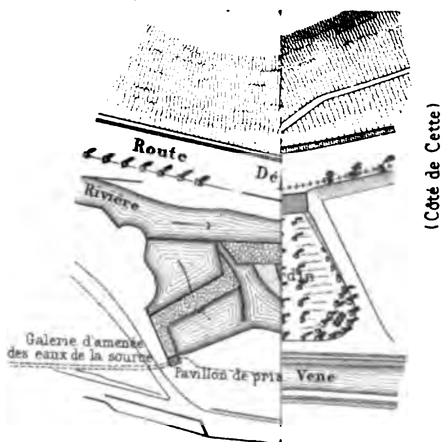


Fig. 15.

a.50

Gravé par E. Pérot



Gravé par E. Pérot

(B)

Maraussan

Chemin

Moulin de Garrolet

Périguier

Chemin de g.d Commun. N° 14

Canal d'amenée de la machine actuelle

d'Orb

MACHINE INF^re

MACHINE ACTUELLE

MACHINE SUP^re

local

d'Intérêt

Route Nat^le N° 9

Chemin de fer du Midi

Canal du Midi

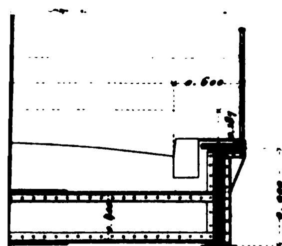
Réservoirs

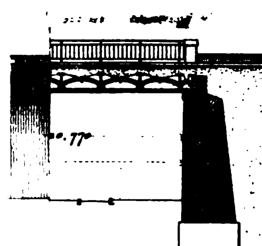
BEZIERS

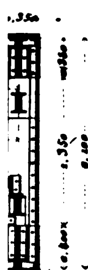
R^te N^le N° 9

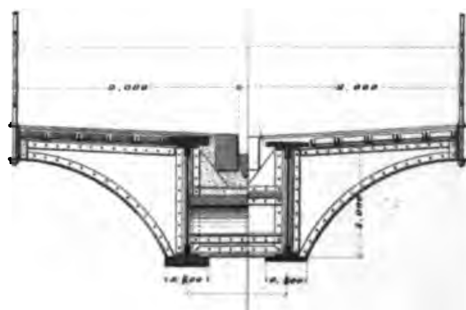
R^te Nat^le N° 112

Gravé par E. Pérot



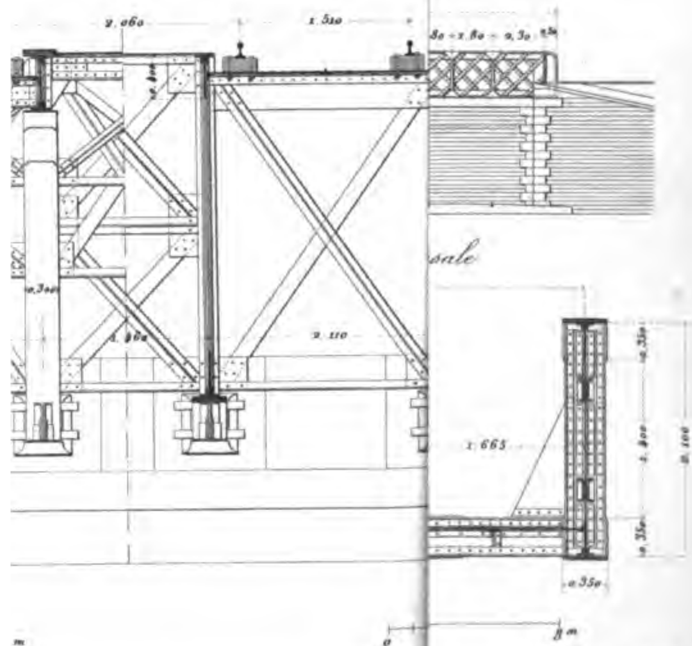






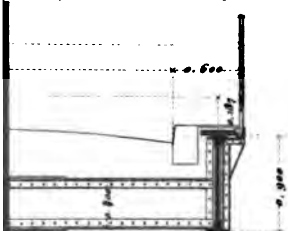


Gravé par E. Pérot

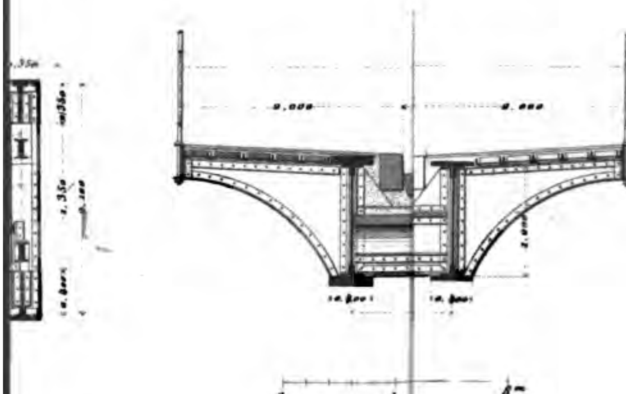


Gravé par R. Pérot



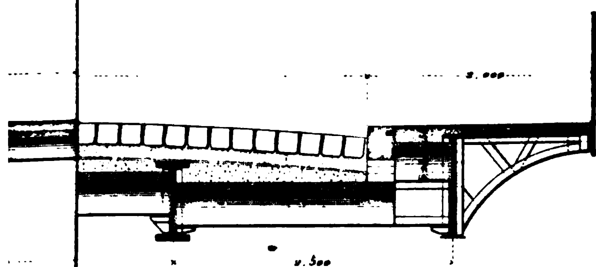






Gravé par E. Pérot

nsversale



ansversales $0^m,015$ pour 1^m

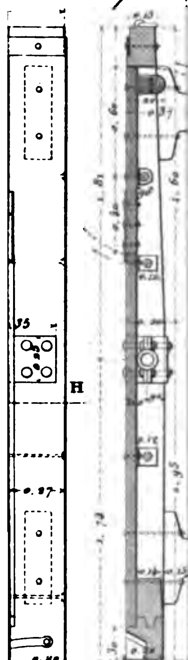
4 6 8m

Gravé par E Perot



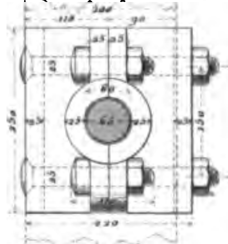


.3. *Détails d* *Coupe sur*



c Fig. 4 *Détails d'un collier*

Élévation latérale



Plan

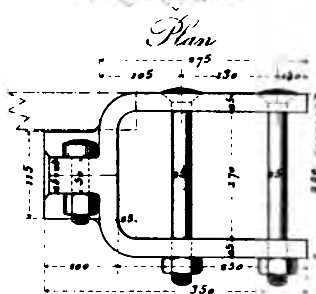
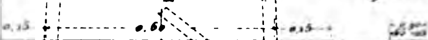
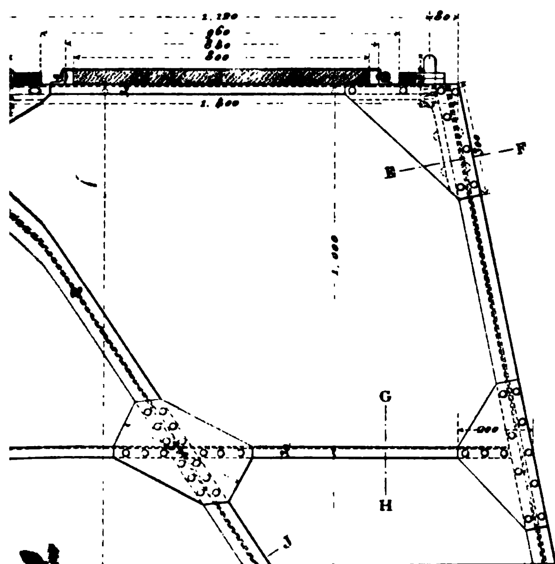


Fig. 5. *Détails d'un coin de chevalet*

Élévation d'aval *Coupe sur* KL



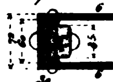
Élévation d'une fermelle de déversoir



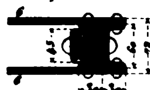
D Fig. 4

Coupes en travers d'une fermelle

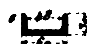
Coupe sur CD



Coupe sur EF



Coupe sur GH



Coupe sur IJ




UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 06555 4696